

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA Y  
TELECOMUNICACIONES**



**TESIS**

**“SISTEMA DE COMUNICACIÓN FSK Y CONECTIVIDAD DE  
INSTRUMENTOS DE CAMPO CON TECNOLOGIA HART PARA  
AMPLIAR EL CONOCIMIENTO DE PROTOCOLOS  
INDUSTRIALES 2018”**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. SECLÉN GARCÍA RICHARD FELIZANDRO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**Línea de Investigación: Informática, Electrónica y Telecomunicaciones.**

**Sub Línea de investigación: Control e Instrumentación Industrial.**

**Piura 2019**

**TESIS:**

**“SISTEMA DE COMUNICACIÓN FSK Y CONECTIVIDAD DE INSTRUMENTOS DE CAMPO CON TECNOLOGIA HART PARA AMPLIAR EL CONOCIMIENTO DE PROTOCOLOS INDUSTRIALES 2018”**

**Línea de Investigación:** Informática, Electrónica y Telecomunicaciones.

**Sub Línea:** Control e Instrumentación Industrial.

**EJECUTOR:**



---

**SECLÉN GARCÍA, RICHARD FELIZANDRO**

**ASESOR:**



---

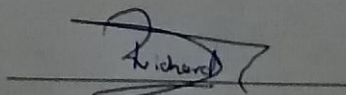
**ING. EDUARDO OMAR AVILA REGALADO**

#### DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo: **RICHARD FELIZANDRO SECLÉN GARCÍA** identificado con DNI N°73629478, Bachiller de Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, de la Facultad de Ciencias y domiciliado en AA.HH. Ñacara Mz. LL lote 30 del Distrito de Chulucanas; Provincia de Morropón; Departamento de Piura; Celular:917301675, con Email: dracev\_8@hotmail.com.

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor. En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, 06 de agosto del 2019.



Richard Felizandro Seclen García

DNI N.°73629478

**TESIS:**

**“SISTEMA DE COMUNICACIÓN FSK Y CONECTIVIDAD DE  
INSTRUMENTOS DE CAMPO CON TECNOLOGIA HART PARA  
AMPLIAR EL CONOCIMIENTO DE PROTOCOLOS  
INDUSTRIALES 2018”**

**JURADO EVALUADOR DE LA TESIS**



---

**Dr. Antenor Aliaga Zegarra**  
Presidente



---

**Dr. Carlos Enrique Arellano Ramirez**  
Secretario



---

**M.Sc. Franklin Barra Zapata**  
Vocal

## Acta de sustentación



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE CIENCIAS



"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

### ACTA DE SUSTENTACIÓN 047-2019-UI-FC-UNP

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para evaluar la Tesis denominada **"SISTEMA DE COMUNICACIÓN FSK Y CONECTIVIDAD CON INSTRUMENTOS DE CAMPO CON TECNOLOGÍA HART PARA AMPLIAR EL CONOCIMIENTO DE PROTOCOLOS INDUSTRIALES 2018"**, presentado por el Señor Bachiller **RICHARD FELIZANDRO SECLÉN GARCÍA**, con el asesoramiento del Ing. **Eduardo Omar Ávila Regalado**; oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, y de conformidad al Reglamento de Tesis para obtener el Título Profesional en la Facultad de Ciencias, lo declaran:

APROBADO ☒

DESAPROBADO ☐

Con la mención de:

**BUENO**

( ) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo de Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**.

( ) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**; después que el sustentante incorpore la sugerencia del Jurado Calificador.

Piura, 06 de agosto del 2019.

Dr. **ANTENOR, SEGUNDO ALIAGA ZEGARRA**  
PRESIDENTE DE JURADO DE TESIS

Dr. **CARLOS ENRIQUE ARELLANO RAMÍREZ**  
SECRETARIO DE JURADO DE TESIS

Ing. **FRANKLIN BARRA ZAPATA, MS.c.**  
VOCAL DE JURADO DE TESIS



Campus Universitario - Urb. Miraflores S/N. Castilla  
PIURA - PERU

## **Dedicatoria**

### ***A Dios***

*Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por concederme sabiduría para lograr mis objetivos, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

### **A mi Madre Mercedes García Domínguez**

*Por darme la vida, Ser mi motor y motivo en mi vida, ser mi fortaleza, apoyarme en todo momento, por sus consejos, paciencia y comprensión, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por tu fe sin límites y tu amor infinito.*

### **A mi Padre Lucio Seclen Chapoñan**

*Por su amor, apoyo incondicional, ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha inculcado siempre, por el valor mostrado para salir adelante.*

*Los amo.*

Richard Seclen G.

## **Agradecimientos**

*A Dios, por otorgarme salud y vida, por haberme dado la sabiduría y el entendimiento para poder llegar al final de mi carrera profesional.*

*A mis padres, por darme la vida, por la formación y educación, gracias por su apoyo incondicional que me brindan día a día, por todos los sacrificios que hicieron a lo largo de mi carrera profesional, así como su comprensión, paciencia y amor. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.*

*A mis hermanos, quienes siempre estuvieron apoyándome en todo momento y en mi vida, sin ustedes este merito no se hubiese conseguido, gracias por su comprensión y cariño.*

*A mi pequeña familia García, por su apoyo, sus consejos a lo largo de mi vida profesional, este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes; les agradezco, y hago presente mi gran afecto, cariño hacia ustedes, familia.*

*A mi compañera de vida Mayra Juárez Alvarado, quien siempre me motivo con cada una de sus palabras, consejos y fuerzas para continuar en esta lucha como persona y profesional y gracias por acompañarme en cada paso que he dado, noches de estudio y en los momentos difíciles y algún día del destino cumplir nuestro Proyecto RiMaK.*

*A mis Docentes de la escuela profesional de electrónica, gracias por sus enseñanzas, paciencia y apoyo, por ser guía en este largo recorrido y formación de mi carrera profesional, especialmente al ing. Eduardo Ávila Regalado, quien me oriento y apoyo en el desarrollo de mi investigación.*

## INDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPITULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.1 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2 IMPORTANCIA .....</b>	<b>18</b>
<b>1.3 OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 BASES TEÓRICAS.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.1 Automatización Industrial .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2 Sistema de Control Distribuido .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.3 Telemetría.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.4 Telecontrol.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.5 Buses de Campo .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.6 Buses de Campo Multi-Maestros y Mono-Maestros .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.7 Comunicaciones entre Instrumentos Industriales.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.8 Sistemas de Transporte y Transmisión de Señales.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.9 Bucle de Corriente.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.10 Naturaleza de las Señales de Salida .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.11 Protocolo de Comunicación Industrial.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.12 Modulación por Desplazamiento de Frecuencia FSK (Frequency ShiftKeying) .....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.13 Red de Comunicaciones .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.14 Protocolo Hart .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.15 Características del Protocolo HART.....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.16 Trama de Datos HART.....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.17 Sistemas Embebidos .....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.18 Arduino .....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.19 Descripción de los Dispositivos de comunicación HART .....</b>	<b>41</b>
<b>2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS .....</b>	<b>49</b>
<b>2.4 HIPÓTESIS. ....</b>	<b>49</b>
<b>2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL.....</b>	<b>49</b>
<b>2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....</b>	<b>49</b>
<b>CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>50</b>
<b>3.1 ENFOQUE Y DISEÑO .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2 SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>50</b>



<b>3.3</b>	<b>MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS .....</b>	<b>51</b>
<b>3.4</b>	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS .....</b>	<b>53</b>
<b>3.5</b>	<b>ASPECTOS ÉTICOS .....</b>	<b>53</b>
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>54</b>
<b>4.1</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Descripción de Dispositivos del Sistema de Comunicación HART .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Transmisor de Presión IPS G1002-5 .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Fuente de Alimentación ABL8MEM24012 – SCHNEIDER .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Controlador Arduino UNO .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Software de Programación Arduino UNO .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Códigos para Comunicación HART .....</b>	<b>62</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>65</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>66</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>69</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros Técnicos Modem USB M195HART.....	42
Tabla 2 Descripción y función de los pines del dispositivo USENSOR	
HART2012M.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Operador humano vs Operador artificial.....	21
Fig. 2.2 Pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing).....	24
Fig. 2.3 Protocolos de Comunicación Industrial.....	28
Fig. 2.4 Métodos de modulación FSK.....	29
Fig. 2.5 Demodulación FSK con PLL.....	29
Fig. 2.6 Modulador FSK.....	30
Fig. 2.7 Señal HART.....	31
Fig. 2.8 Señal FSK Maestro – Esclavo.....	31
Fig. 2.9 Dos canales de comunicación HART.....	32
Fig. 2.10 Sistema Multipunto con HART.....	33
Fig. 2.11 Especificación del protocolo HART.....	33
Fig. 2.12 Transmisor de temperatura conectado a controlador y equipo HART.....	35
Fig. 2.13 Interfaces seriales RS232-D y RS485.....	36
Fig. 2.14 Equipo DTE con su modulador de datos DCE.....	37
Fig. 2.15 Trama de datos del Protocolo HART.....	38
Fig. 2.16 Placas de desarrollo Arduino.....	40
Fig. 2.17 Modem M195HART.....	41
Fig. 2.18 Modem Microlink HART.....	43
Fig. 2.19 Modem HART InLink-CC.....	44
Fig. 2.20 Diagrama de conexiones del modem InLink-CC.....	45
Fig. 2.21 Dispositivo USSENSOR con Modem HART DS8500.....	46
Fig. 2.22 Diagrama interno del modem HART DS8500.....	47
Fig. 3.1 Diagrama del Sistema HART con dispositivos Esclavos y un Maestro.....	52
Fig. 4.1 Alimentación de 3.3Vdc del Arduino Mega al HART2012M.....	55
Fig. 4.2 Conexiones de comunicación Serial Arduino y HART2012M.....	56
Fig. 4.3 Conexión de los pines OCD y RTS al Arduino Uno.....	56
Fig. 4.4 Lectura a RX proveniente del demodulador cuando OCD está en estado alto.....	57
Fig. 4.5 Conexión de Señales HART al Bucle de Corriente de 4 ~ 20mAcc.....	57
Fig. 4.6 Transmisor de Presión 4 -20mA G1/4.....	58
Fig. 4.7 Arduino UNO SMD (izq.) y Arduino UNO DIP (der.).....	60
Fig. 4.8 Presentación Software Arduino.....	61
Fig. 4.9 Interface de desarrollo para programas en Arduino.....	61
Fig. 4.10 compilación mostrada en la interface inferior.....	62

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 01:</b> Ficha técnica del producto ABL8MEM224012.....	69
<b>ANEXO 02:</b> Introduction to the DS8500 HART Modem.....	71
<b>ANEXO 03:</b> DS8500 HART Modem.....	77
<b>ANEXO 04:</b> Industrial Pressure Transducer – Ceramic.....	84

## RESUMEN

En la automatización de los procesos de producción en el entorno industrial permite una mejora del rendimiento productivo de cada una de sus etapas, los términos automática y autómatas está relacionado a la definición de automatización industrial la cual se puede decir que es la aplicación y/o uso de autómatas en los procesos industriales, la tecnología de bucle de corriente, la cual es una señal de  $4 \sim 20 \text{ mA}$ ; es utilizada para la transmisión de señales analógicas desde los transmisores (información de sensores) a los dispositivos de lectura y/o de los controladores a los dispositivos de escritura o actuación (actuadores como válvulas proporcionales), el protocolo define el significado que tiene los datos que se envían entre transmisor y receptor, establecido en la semántica, las reglas y convenciones para la interpretación de la data, la señal FSK se genera por medio de dos moduladores ASK, cuyas salidas se combinan a través de un sumador, el nombre comercial HART proviene de Transductor Remoto Direccional en Red, HART permite la comunicación bidireccional en dispositivos de campo, la tesis es de enfoque cuantitativo, debido a que se basa en un área de conocimiento determinado, protocolos de comunicación industrial; aquí se utiliza tecnología desarrollada como los modem HART, el estudio de las características técnicas de la tecnología HART en la cual se pudo conocer que la señales tanto de salida como de entrada difieren en voltaje pp sobre la línea de corriente de  $4 \sim 20 \text{ mA}$ , eso en función a las dos frecuencias con las que trabaja según las normas Bell, el uso de la tecnología HART a nivel académico y aplicativo se justifica debido a que existe en el mercado dispositivos de bajo costo como los modems HART.

**PALABRAS CLAVES:** PROTOCOLO, COMUNICACIÓN, INDUSTRIAL, HART, FSK.

## ABSTRACT

The automation of production processes in the industrial environment allows an improvement of the product performance of each of its stages, the terms automatic and automatic is related to the definition of industrial automation. Use of automatons in industrial processes, current loop technology, which is a 4 ~ 20 mAcc signal; the protocol defines the meaning of what the analog signal transmission data of the transmitters have. that are sent between transmitter and receiver, the rules and conventions for the interpretation of the information are established in semantics, the FSK signal is generated in the middle of the ASK modulators, the functions are combined through an adder, the name Commercial HART Uses of Network Addressable Remote Transducer, HART allows bidirectional communication in field devices, the quantitative approach thesis, because it is based on an area of knowledge, industrial communication protocols; developed technology such as the HART modem is used here, the study of the technical characteristics of the HART technology in which the signals of both the output and the input can be known differ in pp voltage over the 4 ~ 20mA correlation line, that Depending on the two frequencies with which it works according to Bell standards, the use of HART technology at the academic and application level is justified because there are low-cost devices such as HART modems on the market.

KEYS WORDS: PROTOCOL, COMMUNICATION, INDUSTRIAL, HIGHWAY ADDRESSABLE REMOTE TRANSDUCER(HART), FREQUENCY SHIFT KEYING(FSK).

## INTRODUCCIÓN

(AG, 1996-2018) “HART es un estándar de comunicación para equipos de campo usado a gran escala. El estándar HART transforma la señal analógica de 4–20 mA en una señal digital modulada apta para uso industrial. La ventaja es la combinación de transmisión analógica de medidas, ampliamente probada en campo, y comunicación digital simultánea con transmisión bidireccional y acíclica, lo que permite transferir información de diagnóstico, mantenimiento y proceso de los equipos de campo a los sistemas de orden superior. Juegos de parámetros estandarizados permiten operar todos los dispositivos HART en sistemas con equipos de varios fabricantes”

(Kurt, El Protocolo HART, 2011) “El protocolo de comunicación HART está basado en el sistema de comunicación telefónica estándar BELL 202 y opera usando el principio del Cambio Codificado de Frecuencia (FSK). La señal digital está construida de dos frecuencias principales, 1200 Hz y 2200 Hz, representando los Bits 1 y 0 (cero), respectivamente. Las ondas seno de estas dos frecuencias están superim-puestas en la señal de corriente continua análoga de 4-20 mA DC. Con esto, cables de comunicación con señales análogas transportan a la vez comunicación análoga y digital”

La tecnología HART trabaja con un sistema de transmisión basado en bucle de corriente o también conocidos como lazos de 4 a 20mA los cuales conectan un instrumento de campo a la vez a una entrada o salida analógica (E/S) del dispositivo de control (PLC o Autómata programable industrial). Es decir, a esos canales de E/S que solo fluía una señal analógica proporcional al rango de la variable de medida por ejemplo (4 – 20mA/0 – 14.5psi) o señal de control de una válvula (4 – 20mA/0 – 100% de apertura), con señal modulada FSK entre el instrumento de campo y los dispositivos de configuración y diagnóstico HART.

El presente trabajo de investigación planteó el estudio de la tecnología Hart que está desarrollada bajo el enfoque de modulación FSK para la conectividad de instrumentos de campo. La finalidad de la investigación fue el tener un mayor conocimiento de lo que representa este tipo de tecnología para la transmisión de señales digitales moduladas sobre la capa física de 4 -20mA, la cual es utilizada para conectar dispositivos de campo.

## **CAPITULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

(TORO, 2010) “Para poder entender sobre el protocolo de comunicación HART es necesario explicar a grandes rasgos cual es propósito de ésta tecnología, para esto tenemos que saber algunos puntos que en esta etapa, en la cual nombraremos las siguientes: Comunicación entre dispositivos sobre el mismo par de cables que se utiliza para transportar la señal de instrumentación digital 4 – 20 mA convencional, y tiene una variable (canal) de información que transporta un valor analógico de 4 a 20 mA y otro canal de comunicación digital donde otras variables pueden ser comunicadas utilizando pulsos para representar bit binarios de 0 y 1”

La tecnología HART (Highway Addressable Remote Transducer) fue introducida en el mercado a mediados del año 1986 por la compañía Rosemount Inc, incluso existe la Fundación HART sin fines de lucro con la finalidad de dar a conocer el protocolo por todo el mundo mediante cursos de entrenamiento. Pero la realidad es otra debido a que, para acceder a ese conocimiento, es necesario contar con recursos económicos muy altos, como por ejemplo Endress+Hauser Chile dicto cursos de entrenamiento en el 2016 con un costo por modulo que variaba entre U.S. \$ 320 y U.S. \$ 550 y en total todo el curso tuvo un costo de U.S.\$ 3020 sin incluir gastos de pasajes ni alojamiento por 18 días. (Acerca de nosotros: cl.endress, s.f.)

Si además se considera que esos cursos son dictados con instrumentos de campo y módulos de configuración y diagnóstico cuyos costos para su adquisición son elevados mayores a U.S. \$ 300 desde los transmisores más comunes, prácticamente la inversión en entrenamiento no sería aprovechable si no se está en contacto con estos equipos.

Los problemas más puntuales descritos en este proyecto de investigación, son el presupuesto que se requiere invertir para tener un entrenamiento en el uso de instrumentos de campo que tengan incorporado el protocolo Hart, el alto costo de los instrumentos de campo Hart que permitía mantener ya ampliar el conocimiento adquirido, además que no se cuenta con información básica de la enseñanza de este protocolo debido que se



encuentran protegidos por las entidades que los dictan y no están a disposición para su divulgación.

Por lo anteriormente expuesto, este proyecto de investigación como proyecto de Tesis para la obtención del Título Profesional; plantea desarrollar un estudio del protocolo HART mediante un sistema de comunicación FSK para la conectividad de instrumentos de campo con la finalidad de ampliar el dominio de conocimiento en protocolos industriales.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

### **1.2.1 JUSTIFICACIÓN**

Las comunicaciones industriales para los buses de campo normadas por la IEC 61158, basan su desarrollo en base a la necesidad de automatizar los procesos industriales los cuales migran de una arquitectura centralizada a una arquitectura más compleja o distribuida. Hoy en día los dispositivos de campo pueden ser configurados en caliente, así como realizar diagnóstico de ellos cuando están conectados a una red de campo industrial. **(Kurt, El Protocolo HART, 2011)**

La realización del estudio se justifica debido a que se busca tener una herramienta de entrenamiento documentada que sirva para ampliar el conocimiento de este tipo de redes industriales considerando que existe amplia información de la operatividad de esta tecnología y además se cuenta con tecnología en el mercado con dispositivos para el área académica.

### **1.2.2 IMPORTANCIA**

La importancia de este estudio se centra en lograr captar lo que significa la transmisión de información digital en la misma señal de la medición o control de la variable que se mide o controla, utilizando para ello la modulación de cambio de frecuencia FSK, ampliando los aportes en la concepción en este tipo de modulación.

Por lo expuesto, la aplicación del presente trabajo de investigación queda justificada, porque este estudio constituye en una herramienta necesaria para dar a conocer sobre conceptos de transmisión de información digital en una señal analógica. La realización de este proyecto es base para servir como fuente confiable de información para posteriores trabajos de investigación que permita mejorar el conocimiento en redes industriales.

### **1.3 OBJETIVOS.**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL.**

Estudio de sistemas de comunicación FSK para la conectividad de instrumentos de campo utilizando tecnología HART con la finalidad de ampliar el conocimiento de protocolos industriales.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Estudio de las características técnicas de la tecnología HART para conocer la capacidad de conectividad de instrumentos de campo.
- Estudio de las prestaciones que ofrece el protocolo HART para ser utilizado en una red de campo
- Justificación del uso de tecnología HART respecto al alto costo de sus instrumentos tanto de actuación/medición como de configuración/diagnóstico

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.**

(López Rubio, 2016) En su tesis de pregrado “TECNOLOGÍA INALÁMBRICA WIRELESS APLICADA EN LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES” para la obtención del Título de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica – Instituto Politécnico Nacional (México) planteó como objetivo de informar sobre los más recientes avances tecnológicos en automatización industrial y como la tecnología Wireless HART brinda nuevos y mejores esquemas de optimización e incremento de eficiencia operativa en los diferentes procesos industriales. Concluyó que la comunicación industrial inalámbrica brinda nuevos recursos para soluciones de automatización altamente flexibles y eficientes. Además, informar sobre los más recientes avances y desarrollos tecnológicos en automatización industrial y como la tecnología inalámbrica por protocolo Wireless HART apoya brindando nuevos y mejores esquemas de optimización e incremento de eficiencia operativa en los diferentes procesos industriales del sector Oi & Gas, Refinación, Químico, Automotriz, Farmacéutico, Bebidas y Alimentos a nivel mundial. Solo un pequeño porcentaje de las plantas utilizan comunicaciones completamente digitales y millones de sistemas de automatización y de control antiguos usado ahora puede que nunca pasen a ser “completamente digitales”. La tecnología HART puede ser por lo tanto una herramienta vital para la vida de la planta. HART no requiere un cambio completo de dispositivos de medida y de control y no requiere una formación especial ni cambios en el cableado existente. El mundo de la automatización de procesos continúa poniéndose al día con las mejoras continuas en tecnología HART y los consultores de la industria prevén que esta tecnología será compatible y continuará siendo la tecnología líder en comunicaciones durante muchos años más.

**(Romero & Pérez, 2016)** En su tesis de post grado “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y MONITOREO CON IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DE DETECCIÓN DE FALLAS PARA UNA PLANTA PILOTO DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR” para la obtención del grado de Magister en Ingeniería de Control y Automatización – PUCP planteó como objetivo desarrollar la programación de módulos de detección y diagnóstico de fallas que integre los datos obtenidos por modelos y por protocolo de comunicación industrial HART. Este modelo sirvió para analizar el comportamiento de la planta al generarse variaciones en las variables de entrada (presión y PH). Para asegurar que alguna falla se debe al proceso y no a un dispositivo de campo, se desarrollaron módulos de detección y diagnóstico de fallas para cada dispositivo. Cada módulo toma como base la dinámica del dispositivo asociado y los valores de los parámetros obtenidos mediante comunicación por protocolo HART. Los módulos de detección y diagnóstico de fallas se implementan en la arquitectura de control distribuido DeltaV, el cual también permite desarrollar el sistema de supervisión de la planta, desde donde se supervisa el proceso y se accede a los módulos de detección y diagnóstico de fallas, en forma gráfica. Para justificar el uso de una arquitectura de control distribuido, se integró el sistema de detección y diagnóstico de fallas de la planta piloto desalinizadora de agua de mar y el de la planta piloto de temperatura. También se desarrolló un sistema de supervisión para un panel de operador, el cual se comunica con un PLC CompactLogix, de Allen Bradley. Ambos equipos instalados en el tablero de control de la planta piloto desalinizadora de agua de mar. Para validar el desarrollo de la tesis se realizaron pruebas de campo con una planta piloto de temperatura, la cual posee dispositivos con comunicación por protocolo HART. En dicha planta se forzaron fallas en los instrumentos de campo, las cuales fueron detectadas de manera inmediata por el sistema de control distribuido empleado, y mostradas en forma detallada en la pantalla de supervisión.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

“La automatización de los procesos de producción en el entorno industrial permite una mejora del rendimiento productivo de cada una de sus etapas, esto es debido a que automatizar es sinónimo de reducción de costes y mejora de la calidad final del producto. Además de la inclusión de controladores lógicos programables (PLC's) para el control individual de los procesos en cada línea de producción, las comunicaciones industriales posibilitan a la interconexión de cada uno de estos PLC's cuya información es derivada a un sistema maestro de control, que a su vez permite el envío de información a un nivel superior para las tareas de monitoreo y supervisión. Es por ello que la inclusión de buses de sensores/actuadores, buses de campo o buses de controladores es posible gobernar en forma total el proceso productivo de una fábrica.

El uso de buses de campo permite el control distribuido sobre varios sistemas, donde se pueden usar diferentes controladores y/o transmisores – actuadores inteligentes que se coordinan entre sí. Se definirá los conceptos más importantes respecto a redes industriales, considerando que el protocolo HART permite la interconexión de dispositivos industriales en un bus de campo”. (Kurt, **Automatización\_ Electro Industria, 2011**)

### 2.2.1 Automatización Industrial

Los términos automática y autómatas está relacionado a la definición de automatización industrial la cual se puede decir que es la aplicación y/o uso de autómatas en los procesos industriales, si consideramos que los autómatas son desarrollados en base a la automática la cual se considera como la ciencia que estudia los métodos y procedimientos con la finalidad de sustituir al operador humano por un operador artificial o autómatas. Una idea grafica de esta definición se muestra en la figura 2.1 (Kurt, **Automatización\_ Electro Industria, 2011**)



Fig. 2.1 Operador humano vs Operador artificial

Fuente: elaboración propia

### 2.2.2 Sistema de Control Distribuido

(Creus, 2011) Cuando el control se realiza sobre varios sistemas, a través de diferentes controladores que se coordinan entre sí y por tanto se comunican el estado de ejecución en el que se encuentren utilizando conexiones mediante buses de campo o redes industriales. Sus principales características son:

- ✓ Para sistemas grandes o complejos.
- ✓ La responsabilidad es repartida entre diferentes controladores.
- ✓ Todos los controladores deben comunicarse a través de una red.
- ✓ Su capacidad tiende a ser superior a un sistema centralizado.
- ✓ Se caracteriza por ser un sistema más flexible que el centralizado.
- ✓ Se pueden hacer ampliaciones con otros controladores.
- ✓ Se puede partir de un sistema básico e ir ampliando a medida que el sistema lo exija, añadiendo módulos u otros controladores.
- ✓ Permite la integración de dispositivos de diferentes fabricantes comunicables entre sí.

### 2.2.3 Telemetría

Es la utilización de equipos eléctricos o electrónicos para detectar, acumular y procesar datos físicos en un lugar, para después transmitirlos a una estación remota donde pueden procesarse y almacenarse. Un ejemplo de la utilidad de la telemetría es la medición, transmisión y procesamiento en sistemas de automatización de procesos industriales. Estos datos pueden ser, por ejemplo, la temperatura y la velocidad de un líquido en una tubería. Estas magnitudes son las variables de campo. **(Benavides, 2015)**

### 2.2.4 Telecontrol

Un proceso industrial completo incluye también el control (local o remoto) de las operaciones que se están llevando a cabo.

Muy ligado a la Telemetría se tiene el Telecontrol, mediante el cual, una vez recibidas y procesadas las señales o variables de campo, se procede a modificar las condiciones de

operación de los procesos de acuerdo con un plan preestablecido, o según las circunstancias. El ente que toma las decisiones puede ser un operador experimentado o un dispositivo automático. **(Benavides, 2015)**

### **2.2.5 Buses de Campo**

El bus de campo es el nivel más próximo al proceso dentro de la estructura de las comunicaciones industriales y se encarga de la integración de pequeños automatismos como PLC's compactos, E/S distribuidas, controladores de campo PID, equipos de medida, dispositivos sensores actuadores de seguridad, etc. Está basado en procesadores simples y utiliza un protocolo mínimo para gestionar el enlace entre ellos.

La característica básica para que una red de comunicación se denomine bus de campo es que permita intercambiar órdenes y datos entre productos de uno o distintos fabricantes a través de un protocolo reconocido por cada uno de los nodos. **(López, 2008)**

### **2.2.6 Buses de Campo Multi-Maestros y Mono-Maestros**

La definición de buses Multi-maestro y buses Mono-maestro, está en función del número de “maestros” o controladores principales que coexisten en un mismo bus. En una solución Mono maestro, por ejemplo, existirá un único controlador principal Maestro, siendo el resto de participantes “esclavos” del mismo. Los dispositivos “esclavos” se comunican con el Maestro, únicamente cuando éste lo solicita, el cual mediante una petición de lectura/escritura posibilita que los esclavos puedan “acceder al medio” de comunicación. Una de las técnicas de acceso al medio se denomina pooling, que consiste en la realización de consultas sucesivas por el propio maestro, que va “preguntando” a cada uno de los esclavos de forma secuencial (cíclica) por el estado de sus entradas/salidas. **(R, 1997)**

### **2.2.7 Comunicaciones entre Instrumentos Industriales**

Se pueden definir las Comunicaciones Industriales como: “Área de la tecnología que estudia la transmisión de información entre circuitos y sistemas electrónicos utilizados para llevar a cabo tareas de control y gestión del ciclo de vida de los productos industriales”

El objetivo es “resolver la problemática de la transferencia de información entre los equipos de control del mismo nivel y los niveles contiguos de la pirámide CIM” CIM (figura 2.2) denominada también “Manufactura Integrada por Computadora”, la cual surge tras un ineficiente proceso de comunicación ocurrido entre diversos procesos que se ejecutan en las grandes empresas de manufactura.

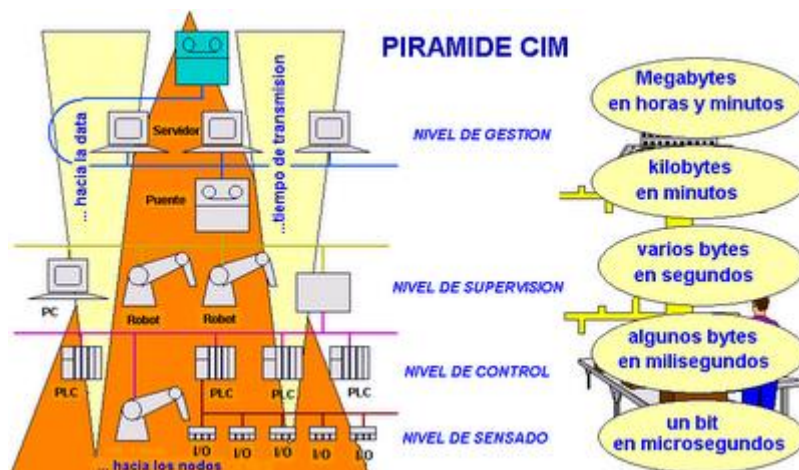


Fig. 2.2 Pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing)

Fuente: internet (automatizacion2008.blogspot.com)

Las comunicaciones entre instrumentos se iniciaron con el puerto serie, pasando después a sistemas híbridos, que utilizan el estándar análogo de comunicaciones 4-20mA c.c., al que incorporaron un protocolo de comunicación digital (HART es el más conocido) y que llenan el vacío existente entre las dos tecnologías análoga y digital. Estos sistemas se basaban en el estándar OSI que permitió una normalización inicial de las comunicaciones, con la ventaja de obtener información de los datos del instrumento y cambiar la configuración de sus parámetros, integrando digitalmente los instrumentos con los sistemas de control. **(Creus, 2011)**

A continuación, se detalla en forma general las tareas asignadas a los elementos que forman parte de los sistemas de comunicación actuales. Antes de ello, hay que comenzar diciendo que, para que exista, la comunicación requiere de los siguientes elementos genéricos:



- **Emisor**, fuente que genera el mensaje
- **Sistemas de transporte y de transmisión**, soporte físico para la emisión del mensaje
- **Receptor**, receptor del mensaje
- **Protocolo**, sincronización entre extremos de la línea, detección y corrección de errores, gestión del enlace de la comunicación, etc., es decir “*el protocolo de comunicación engloba todas las reglas y convenciones que deben seguir dos equipos cualesquiera para poder intercambiar la información*” (Penin, 2008)

### 2.2.8 Sistemas de Transporte y Transmisión de Señales

(García Teodoro & Díaz Verdejo, 2003) El concepto de comunicación, involucra los cuatro elementos visto en el ítem anterior, pero de ellos, para que el intercambio de información entre dos equipos sea factible, se necesita de dos elementos:

- **Primero**, un medio o sistema para transportar para la energía que contiene esa información. Los medios que conocemos en la actualidad para ello son:
  - Cable eléctrico, hilo metálico aislado tipo par simple, par trenzado o coaxial.
  - Fibra óptica, núcleo de material transparente, cristal o plástico utilizado para guiar señales luminosas en su interior.
  - Enlace óptico, rayos infrarrojos y conexión visual directa E-R
  - Radio frecuencia, señales de radio menores a 1GHz que se generan en un conductor eléctrico cuando se supera cierta frecuencia en la señal que transporta dicho conductor.
  - Microondas, señales de radio frecuencia mayores a 1GHz
  - Satélite, señal extraterrestre mayores a 1GHz.

- **Segundo**, un sistema de transmisión de señal para que esta sea transmitida entre dos puntos y que debe llegar a su destino en condiciones óptimas. Los tipos que se estudian son:
  - Niveles de tensión, TTL, RS232, RS422 y RS485
  - Bucle de corriente, bucle de 4 a 20 mA.cc
  - Señal modulada, ASK, PSK, FSK, entre otras.

### 2.2.9 Bucle de Corriente

(Umana, 1997) La tecnología de bucle de corriente, la cual es una señal de 4 ~ 20 mA.cc; es utilizada para la transmisión de señales analógicas desde los transmisores (información de sensores) a los dispositivos de lectura y/o de los controladores a los dispositivos de escritura o actuación (actuadores como válvulas proporcionales). Este tipo de tecnología apareció en la década de los años sesenta y permite la transmisión de información analógica a grandes distancias aproximadamente cerca de 1 milla terrestre (1609m). Su ventaja es que es robusta frente a las interferencias eléctricas por lo que la información que transmite no se modifica. El cable de transmisión de señales se utiliza para llevar la alimentación de potencia a los dispositivos ya sean estos transmisores o actuadores.

Los elementos necesarios para realizar un bucle de corriente son:

- ✓ El emisor (transmisor o controlador)
- ✓ La alimentación del bucle (Fuente DC de 10 a 30V)
- ✓ El cable (dos hilos AWG 14)
- ✓ El receptor (controlador actuador)

Las ventajas del bucle de corriente son:

- ✓ Transmisión a largas distancias
- ✓ Detección de fallo de sensores
- ✓ Red económica (2 hilos)
- ✓ Alta inmunidad a las interferencias electromagnéticas

### **2.2.10 Naturaleza de las Señales de Salida**

Analógica: la variable física se traduce en variaciones continuas de la señal de salida. La señal se transmite con tensiones de 1 a 5 VDC, de 10 a 50mVDC y con el lazo de corriente de 4-20mA<sub>cc</sub>.

Digital: las variables físicas son discretas y representan estados: ON/OFF, abierto/cerrado, etc. La señal se transmite con dos tensiones de línea, por ejemplo, 0 ó 24 VDC.

Secuencias de Impulsos: las variables físicas representan estados cíclicos, por ejemplo, la velocidad de una turbina. La señal de salida es una serie de impulsos cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de la turbina. (Umana, 1997)

### **2.2.11 Protocolo de Comunicación Industrial**

*“Los protocolos de comunicación son estándares que establecen los parámetros necesarios para realizar una determinada transmisión de información entre un emisor y receptor”.* (Muñoz, 2017)

El protocolo define el significado que tiene los datos que se envían entre transmisor y receptor, establecido en la semántica, las reglas y convenciones para la interpretación de la data. Los datos recibidos, como por ejemplo una trama de bits, deben ser interpretados para validar si cumple con lo establecido en el protocolo, es por ello que se considera como el idioma con el que ha sido escrito dicha trama de bits. El protocolo define las reglas de significado y semánticas que permiten a las estaciones entenderse. Algunos de los protocolos de comunicación industrial del mercado más utilizados se muestran en la figura 2.3



Fig. 2.3 Protocolos de Comunicación Industrial

Fuente: Internet (logicbus.com)

*“Tradicionalmente el cableado de equipos eléctricos se realizaba hilo a hilo, lo cual generaba grandes retardos de tiempo y muchos problemas al momento de fallas. Hasta hace unas décadas (y actualmente en muchas empresas del medio), estas soluciones cubrían todas las necesidades, tanto para señales digitales como para señales analógicas, requiriendo en este último caso cables protegidos contra interferencia electromagnética. Al comenzar la evolución de los PLCs y DCSs, los protocolos de comunicación, se encontró la necesidad de realizar comunicaciones entre equipos. Al principio las comunicaciones eran mediante enlaces tipo serie. Luego, cada fabricante creaba un protocolo de comunicación para los dispositivos que desarrollaba. Finalmente, ante tantos sistemas cerrados y una gran variedad de protocolos, el desarrollo de protocolos se estandarizó y se fueron quedando los protocolos que presentaban mejores características y prestaciones para diferentes tipos de aplicaciones”. (Julio Romero, 2016)*

#### 2.2.12 Modulación por Desplazamiento de Frecuencia FSK (Frequency Shift Keying)

(Alcalá & Ortiz, 2012) En esta forma de modulación, la portadora sinusoidal toma dos valores de frecuencia, determinados directamente por la señal de datos binaria. El modulador puede realizarse en varios modos, entre los más difundidos se tiene:

- ✓ Oscilador controlado por tensión (VCO)
- ✓ Un sistema que transmite una de las dos frecuencias, en función de la señal de datos
- ✓ Un divisor gobernado por la señal de datos

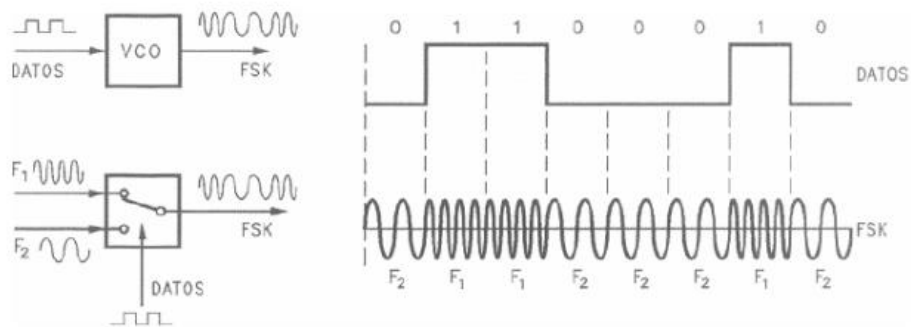


Fig. 2.4 Métodos de modulación FSK

Fuente: Internet (fundamentosdetelecomunicacionesisc.blogspot.com)

La técnica de demodulación más difundida es la que se utiliza un circuito PLL, el cual se muestra en la figura 2.5. La señal FSK en la entrada del PLL toma dos valores de frecuencia. La tensión de error proporcionada por el comparador de fase sigue dichas variaciones y, por consiguiente, constituye la representación binaria NRZ (nivel alto y nivel bajo), de la señal FSK de entrada. A continuación del demodulador PLL se encuentra un filtro paso bajo que elimina las componentes residuales de portadora y un circuito conformador que traza la señal de datos correcta. (Alcalá & Ortiz, 2012)

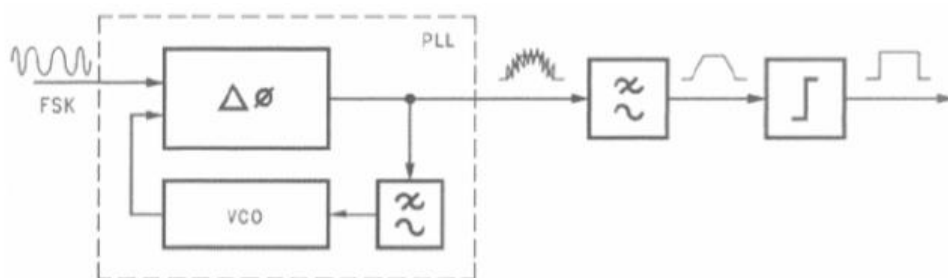


Fig. 2.5 Demodulación FSK con PLL

Fuente: Internet (fundamentosdetelecomunicacionesisc.blogspot.com)

Los factores más importantes que se rescatan de la modulación FSK aplicado a las comunicaciones industriales son:

- ✓ Aplicaciones en los módems para transmisión de datos, entre ellos BELL 103, BELL 113 y BELL 202
- ✓ Requiere circuitos de mediana complejidad
- ✓ Probabilidad de error elevada pero inferior a ASK
- ✓ Siendo  $F_b$  la velocidad de transmisión de los bits, el espectro mínimo  $B_w$  de la señal modulada resulta mayor que  $F_b$

- ✓ La eficiencia de transmisión, definida como la relación entre  $F_b$  y  $B_w$  resulta menor que 1
- ✓ El Baudio o Baud Rate, definido como la velocidad de modulación o velocidad de símbolo, es igual a la velocidad de transmisión  $F_b$

El modulador FSK se muestra a continuación en la figura 2.6

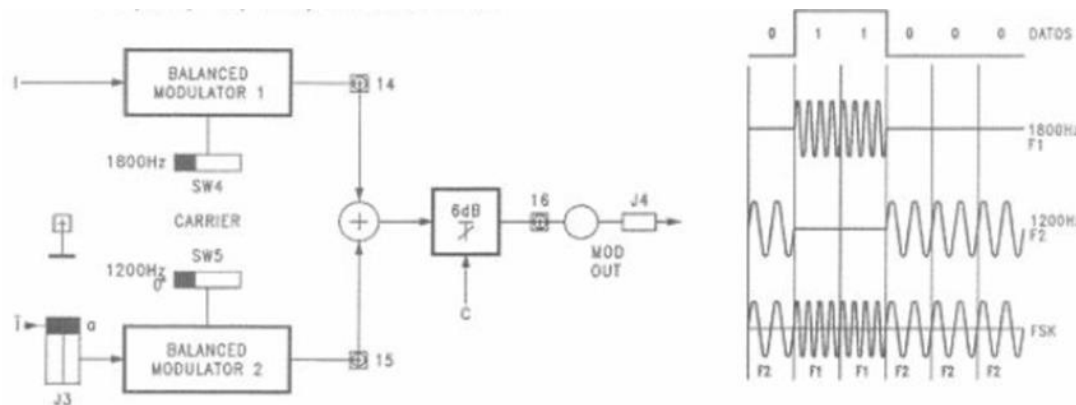


Fig. 2.6 Modulador FSK

Fuente: Internet ( <http://www.udb.edu.sv>)

La señal FSK se genera por medio de dos moduladores ASK, cuyas salidas se combinan a través de un sumador. Las dos portadoras sinodales 1200 Hz y 1800 Hz se aplican por separado a los dos moduladores. Los datos llegan en forma directa a uno de los dos moduladores y en forma negada al otro. De esta forma un modulador proporciona la senoide cuando el dato es “1” y el otro cuando el dato es “0”. Sumando las dos salidas, se obtiene la señal FSK como se muestra en la figura 2.5. El atenuador de 6 dB reduce la amplitud de la señal y se activa sólo con la señal QAM. (Alcalá & Ortiz, 2012)

### 2.2.13 Red de Comunicaciones

La red de comunicaciones tiene por objetivo permitir el intercambio de información (diálogo o conversación) entre dos o más elementos... llamados nodos de la planta. Estos nodos deben estar unidos físicamente (cableado, conectores, electrónica, etc.) y usar las mismas normas básicas de diálogo (protocolos) o, en su defecto, disponer de los equipos traductores necesarios para la conversión de normas. (Creus, 2011)

### 2.2.14 Protocolo Hart

El nombre comercial HART proviene de Transductor Remoto Direccional en Red (ver figura 2.7), y su uso está basado en la norma Bell 202, la cual utiliza la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) para sobreponer señales digitales de comunicación a bajo nivel sobre la señal de corriente continua de 4 – 20mA. (Hart, 1999)

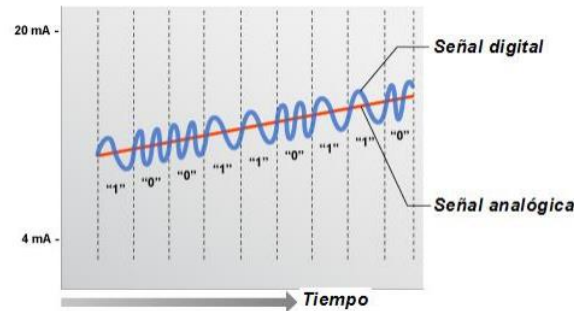


Fig. 2.7 Señal HART

Fuente: Revista “electroindustrial”-Protocolo HART

El modo de dialogo Master – Slave (maestro - esclavo) se basa en el uso del protocolo en la cual el master y los esclavos se comunican en un formato de envío de comandos y respuestas respectivamente tal como se muestra en la figura 2.8, además que cada comando o respuesta es una secuencia de información binaria de unos “1” y ceros “0” conmutados a dos frecuencias (FSK). La amplitud de la señal HART es de 1mA<sub>p-p</sub>. (Hart, 1999)

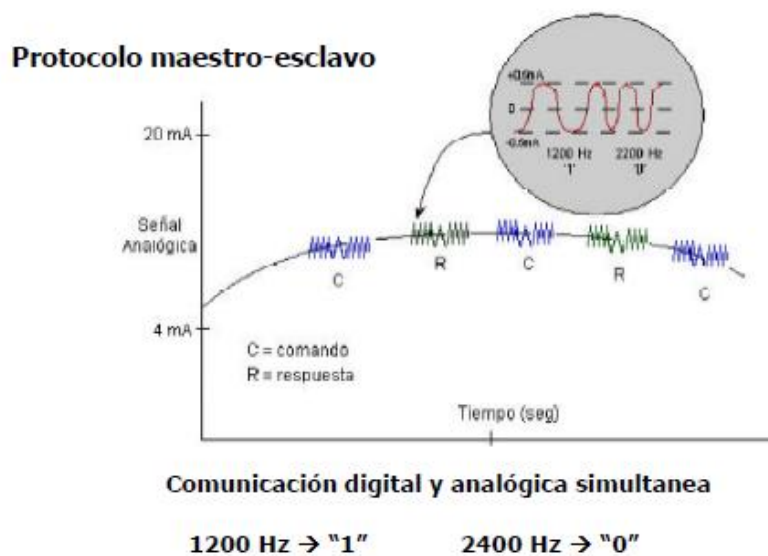


Fig. 2.8 Señal FSK Maestro – Esclavo

Fuente: revista-internet(electrotecnia-etsiam/pdf-master/08-protocolos.pdf)

HART permite la comunicación bidireccional en dispositivos de campo, por lo que se superpone a la señal original de la variable medida y hace posible la transmisión de información adicional haciendo de ello un protocolo para instrumentación inteligente. El protocolo HART se comunica a 1200bps sin interrumpir la señal de 4 – 20mA y permite a la aplicación central (maestro) obtener dos o más actualizaciones digitales por segundo de un dispositivo inteligente de campo (esto depende de la velocidad de actualización del maestro). Ya que la señal digital es de fase no continua, no hay interferencia con la señal de 4 – 20mA. Una ventaja del protocolo HART sobre los demás protocolos es la comunicación de canales simultáneos tal como lo mostramos en la figura 2.9 a la señal analógica de 4 – 20mA y la señal digital. **(Hart, 1999)**

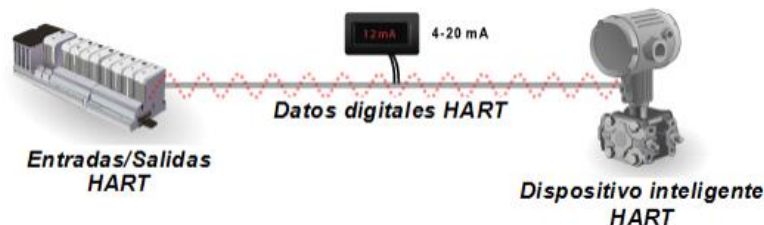


Fig. 2.9 Dos canales de comunicación HART

Fuente: Revista “electroindustrial”-Protocolo HART

El protocolo HART define dos modos de operación: POLL y BURST. En modo POLL cualquier transacción es originada por el maestro; el esclavo solo responde cuando recibe un mensaje dirigido a él. La longitud y el retardo típicos de los mensajes permiten idealmente hasta 2,5 actualizaciones de una variable por segundo. Un esclavo configurado en modo de operación BURST produce mensajes sucesivamente sin solicitud directa del maestro, lo que permite realizar cerca de 3,5 actualizaciones por segundo, en el mejor de los casos. **(Hart, 1999)**



El protocolo HART permite toda la comunicación digital con los dispositivos de campo en configuración de red punto a punto y multipunto. Esto lo mostramos en la siguiente figura 2.10

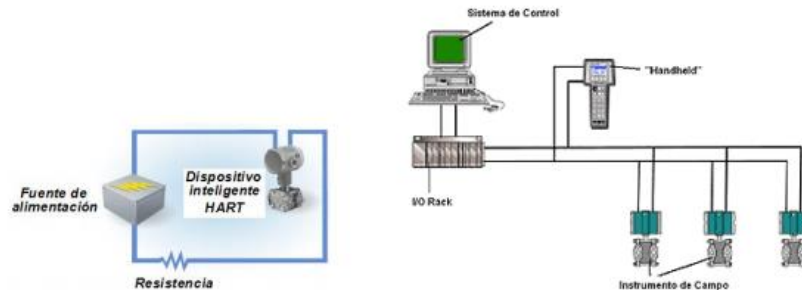


Fig. 2.10 Sistema Multipunto con HART

Fuente: Revista “electroindustrial”-Protocolo HART

(Olivos, 2004) Mediante dos diagramas, los cuales se muestran en la figura 2.11; se ve de una forma general como actúa el protocolo HART respecto a un sistema de transmisión tipo bucle de corriente simple sin HART:

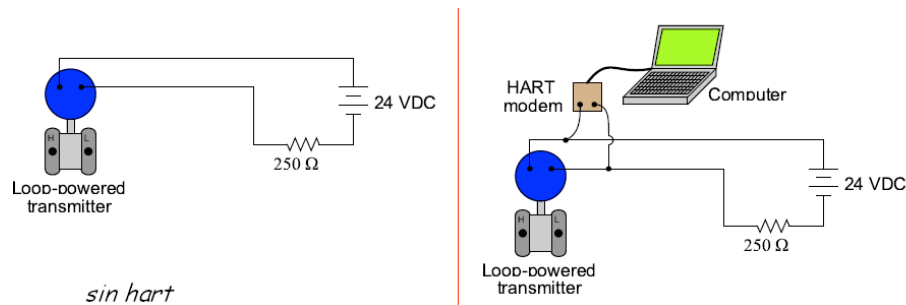


Fig. 2.11 Especificación del protocolo HART

Fuente: Revista “electroindustrial”-Protocolo HART

Veamos las especificaciones de cada uno de los diagramas

En el caso sin modem HART se tiene:

- El trasmisor regula la corriente en valores que representen la variable de proceso
- La fuente de alimentación proporciona el voltaje para que el transmisor funcione

Utilizando un modem HART:

Además de los dos ítems anteriores, además se tiene.

- La potencia DC y la señal de corriente analógica se transporta por un par de cables comunes
- Los datos digitales pueden ser transportados entre los transmisores de lazo en forma de pulsos eléctricos superpuestos en el cable

Es conocido por los ingenieros de planta que aún se desarrollan módulos con transmisión analógica convencional de corriente 4-20 mA.cc, así también se convive en la actualidad otros sistemas de transmisión analógicos como transmisión en tensión de 0-10V o 0-5V, dentro de sistemas de adquisición de datos de variables físicas típicas como: presión, nivel, caudal, temperatura, etc. **(Olivos, 2004)**

HART, el protocolo introducido al mercado en 1986 por la compañía Rosemount Inc. proporciona una solución para la comunicación de instrumentos inteligentes, compatible con la transmisión analógica convencional en corriente 4-20mA, que permite que la señal analógica y las señales de comunicación digital sean transmitidas simultáneamente sobre el mismo cable que conecta el transmisor o actuador con la entrada del corriente del controlador. **(Olivos, 2004)**

Mediante este sistema la información de la variable primaria que se mide y que es la del proceso (nivel, temperatura, caudal, presión, etc.) y señal de mando es transmitida mediante la señal analógica de 4-20mA, mientras que la señal digital es utilizada para transmitir otro tipo de información diferente como parámetros del proceso, configuración, calibración e información de diagnóstico del instrumento. A continuación, se muestra la figura 2.12 donde se muestra un transmisor conectado a un controlador Siemens y a dos equipos de configuración y lectura HART. **(Hart, 1999)**





Fig. 2.13 Interfaces seriales RS232-D y RS485

Fuente: elaboración propia

### 2.2.16 Trama de Datos HART

(HART, 1999) La comunicación HART está basada en comandos. Hay tres tipos de comandos que van a proporcionar acceso de lectura-escritura a la información disponible en los instrumentos de campo compatibles con HART. Los comandos pueden ser:

- Comandos Universales
- Comandos de Práctica Común
- Comandos Específicos del Dispositivo

“Los Comandos Universales aseguran la interoperabilidad entre los productos de distintos fabricantes, y proporcionan el acceso a la información útil en la operación habitual en planta. Todos los esclavos compatibles HART deben responder a todos los Comandos Universales.

Los Comandos de Práctica Común proporcionan acceso a funciones que son implementadas en muchos dispositivos, pero no en todos. Son opcionales, pero si se implementan, debe ser como se especifica.

Los Comandos Específicos del Dispositivo ofrecen la libertad para que cada aparato particular tenga parámetros o funciones exclusivos”. (HART, 1999)

Las especificaciones básicas para la transmisión de tramas de datos en protocolo HART son las siguientes:

- Velocidad: 1200bps
- Estructura del carácter serial:
  - 1 bit de inicio
  - 8 bits de datos
  - 1 bit de paridad
  - 1 bit de parada
- Número máximo de esclavos (dispositivos actuadores/sensores): 15
- Número máximo de maestros: 2
- En modo multidrop: sensores 4 – 20mA<sub>cc</sub>, direcciones del 1 al 15
- Sección de cable AWG: entre 20 ~ 24
- Estructura de la Trama HART: según su formato de capa de enlace tiene 8 “*campos*” que son necesarios para el establecimiento y mantenimiento de la comunicación entre dos dispositivos DCE-DTE cuya estructura se muestra en la figura 2.14. El DTE prepara la trama en algún tipo de codificación digital, por ejemplo, ASCII y luego la envía cada carácter del comando o respuesta en formato serial hacia el DCE quien realiza la modulación/demodulación FSK para ser transmitida al nodo requerido. (Helson, 2004)

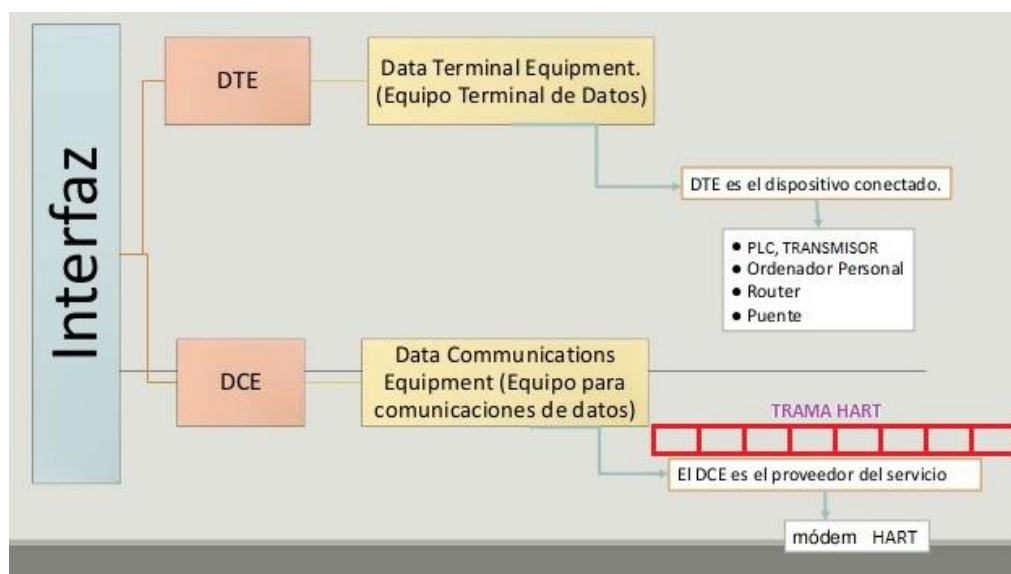


Fig. 2.14 Equipo DTE con su modulador de datos DCE

Fuente: elaboración propia

La trama de datos HART se muestra en la figura 2.15



Fig. 2.15 Trama de datos del Protocolo HART

Fuente: biblioteca virtual Univ.Tec. Bolívar

(Pabon, 2011) Los campos de la trama de datos HART se describen a continuación:

- Preámbulo: secuencia de puros unos; es utilizado para la sincronización de la trama.
- Byte de Partida: indica el tipo de mensaje Maestro/Esclavo, Esclavo/Maestro. Puede indicar el formato del campo Direcciones: formato corto o formato largo.
- Direcciones: Indica la dirección del que transmite la trama y la del nodo receptor. Incluye la dirección Maestra (UNO para la maestra Primaria y CERO para la Maestra secundaria) y la dirección del esclavo. En formato corto, la dirección esclava es de 4 dígitos y en formato largo es de 38 dígitos.
- Comandos: contiene el comando o función específica del mensaje: comandos universales, comandos comunes y comandos específicos de dispositivo.
- Conteo: contiene el número de bytes de los campos Status e Información.
- Status: contiene información acerca de errores de comunicación en el mensaje, el estado del comando recibido y el estado del dispositivo mismo.
- Información: puede estar o no presente, depende del mensaje.
- BBC: contiene el resultado de un O - Exclusivo desde el byte de partida hasta información.

### 2.2.17 Sistemas Embebidos

(Dr. Acosta Nelson; Ing. Barragán Gustavo, 2019) “Un sistema embebido o empotrado (integrado, incrustado) es un sistema de computación diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas, frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real. Al contrario de lo que ocurre con los ordenadores de propósito general (como por ejemplo una computadora personal o PC) que están diseñados para cubrir un amplio rango de necesidades, los sistemas embebidos se diseñan para cubrir necesidades específicas. En un sistema embebido la mayoría de los componentes se encuentran incluidos en la placa base (tarjeta de vídeo, audio, módem, etc.) y muchas veces los dispositivos resultantes no tienen el aspecto de lo que se suele asociar a una computadora. Algunos ejemplos de sistemas embebidos podrían ser dispositivos como un taxímetro, un sistema de control de acceso, la electrónica que controla una máquina expendedora o el sistema de control de una fotocopidora entre otras múltiples aplicaciones. Existen también plataformas desarrolladas por distintos fabricantes que proporcionan herramientas para el desarrollo y diseño de aplicaciones y prototipos con sistemas embebidos desde ambientes gráficos, algunos ejemplos de éstas son: Arduino, mbed, Raspberry Pi, BeagleBone, etc.”.

(Sistemas, s.f.) “Son dispositivos usados para controlar equipos, operación de maquinarias o plantas industriales completas. El término "embebido" (también se lo conoce como "incrustado" o "embutido") está caracterizando que esos circuitos integrados son una parte integral del sistema en que se encuentran. Lo interesante de que un sistema sea "embebido" es que puede estar de tal forma incrustado, puede quedar tan oculto a nuestros ojos, que la presencia de tales "chips" no resulte nada obvia a quien lo mira”

### 2.2.18 Arduino

(Arduino.cl, s.f.) “Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra, los que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla”.

Quienes hayan usado los sistemas embebidos Arduino, que en forma general lo describo como una tarjeta de desarrollo electrónica con su propio software de programación para soluciones electrónicas, debemos considerar que existen distintos modelos o placas Arduino (ver figura 2.16) cada una con un propósito diferente y sobre todo características de acuerdo a la necesidad como son el tamaño de la tarjeta, el número de E/S discretas y/o analógicas, etc. Todas las placas Arduino se basan en microcontroladores AVR de Atmel, como ya escribí antes, comparten la mayoría de sus características de software, como arquitectura, librerías y documentación. (Arduino.cl, s.f.)

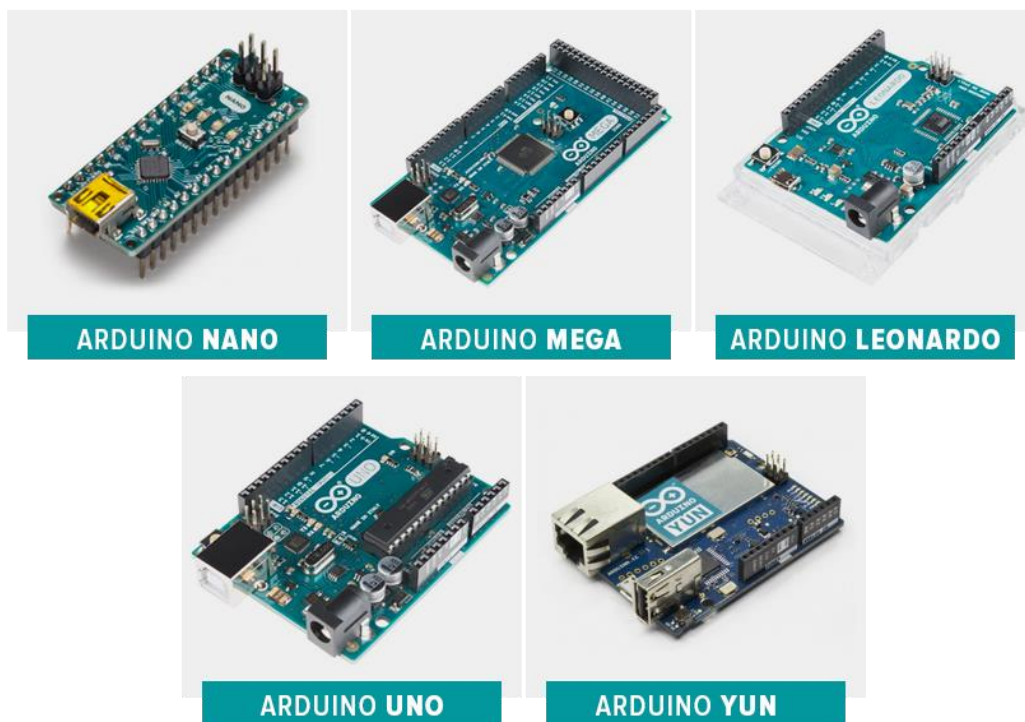


Fig. 2.16 Placas de desarrollo Arduino

fuelle: Internet-Arduino (<http://arduino.cl/que-es-arduino/>)

(Arduino.cl, s.f.) Sus prestaciones más importantes, según MCI electronic; son las siguientes:

- Arduino tiene una gran comunidad: Gracias a su gran alcance hay una gran comunidad trabajando con esta plataforma, lo cual genera una cantidad de documentación bastante extensa, la cual abarca casi cualquier necesidad.
- Su entorno de programación es multiplataforma: Se puede instalar y ejecutar en sistemas operativos Windows, Mac OS y Linux.



- **Lenguaje de programación de fácil comprensión:** Su lenguaje de programación basado en C++ es de fácil comprensión que permite una entrada sencilla a los nuevos programadores y a la vez con una capacidad tan grande, que los programadores más avanzados pueden expresar todo el potencial de su lenguaje y adaptarlo a cualquier situación.
- **Bajo costo:** La placa Arduino estándar (Arduino UNO) tiene un valor aproximado de PE S/.30, incluso uno mismo la podría construir (una gran ventaja del hardware libre), con lo que el precio de la placa sería incluso menor.
- **Re-usabilidad y versatilidad:** Es re-utilizable porque una vez terminado el proyecto es muy fácil poder desmontar los componentes externos a la placa y empezar con un nuevo proyecto, de igual manera todos los pines del microcontrolador están accesibles a través de conectores hembra, lo cual permite sacar partido de todas las bondades del microcontrolador con un riesgo muy bajo de hacer una conexión errónea.

### **2.2.19 Descripción de los Dispositivos de comunicación HART**

Para el desarrollo de la investigación se evaluaron tres tipos de dispositivos de comunicación HART, siendo los siguientes:

#### **A. USB M195Hart Módem Transmisor con Comunicador 475 375**



Fig. 2.17 Modem M195HART

Fuente: Internet: Marketplace: Export to China

(Libre, 2019) El M195 HART Modem es una herramienta de configuración / depuración de dispositivos inteligentes, que se puede utilizar para la producción de dispositivos inteligentes.

La configuración de HART, la puesta en servicio y la administración en el sitio, el mantenimiento, etc., utilizan las herramientas de configuración / depuración de HART en el proceso de producción para la configuración, depuración, calibración, diagnóstico del equipo HART Inteligente, también se puede usar para la administración y la configuración en ejecución. Dispositivos de campo inteligentes HART y variables de proceso de monitoreo, diseño de estructura Carcasa de metal macizo. El alambre, las pinzas de cocodrilo y los ganchos de ciervo son de alta resistencia.

Software Proporciona software libre. Sistema operativo: Win95 / 98 / ME / 2000 / XP / WIN7 / WIN8 / WIN10

Fuente de alimentación de bucle incorporada La fuente de alimentación de bucle incorporada puede alimentar el transmisor, la línea HART y la línea de fuente de alimentación se combinan.

Resistencia de bucle incorporada La resistencia de bucle incorporada es útil cuando la resistencia de bucle es inferior a 250 ohmios.

Aislamiento galvánico Aislamiento 1500 VDC.

### A.1 Parámetros Técnicos

**Tabla 1.** *Parámetros Técnicos Modem USB M195HART*

COMUNICACIÓN HART	
Tipo de Señal	HART, Bell 202 FSK
Velocidad de Transmisión	1200bps
COMUNICACIÓN USB	
Tipo de interface	USB Virtual Serial Port
Velocidad de Transmisión	1200bps
BAJA POTENCIA INCORPORADA	
Interface	combinado con cable HART
Máxima potencia de salida	21.6VDC con 5% de Precisión, 45mA
SUMINISTRO DE POTENCIA	
Interface	conector USB estándar
Máxima potencia	1.2Watt
AISLAMIENTO	
Aislamiento galvánico	1500VDC de aislamiento entre el transmisor y la PC
AMBIENTE DE OPERACIÓN	
Temperatura de operación	desde -20°C ~ +50°C
Humedad	0% ~ 95%
temperatura de almacenamiento	desde -40°C ~ +85°C

Fuente: elaboración propia

## B. Modem MIKROLINK HART



Fig. 2.18. Modem Microlink HART

Fuente: internet: [microflx.com/products](http://microflx.com/products)

(LLC, 2015) “El RS-485 MicroLink-HM, es una interfaz HART administrada que se puede usar como maestro HART primario o secundario, lo que elimina la necesidad de monitoreo de detección de portadora externa (CD) y control de solicitud de envío (RTS). También se puede configurar para sondear continuamente hasta 16 dispositivos HART, llenando registros modbus internos con valores variables. Los valores variables se pueden leer como un entero con signo de 16 bits o un punto flotante de precisión simple mediante comandos modbus-RTU. La configuración se guarda en registros de modbus, lo que permite que los comandos de modbus se utilicen para la configuración”.

### B.1 Características Técnicas

- ✓ Se puede utilizar como un módem de protocolo HART estándar o como acumulador HART a modbus
- ✓ El puerto RS-485 permite múltiples módems en la misma red
- ✓ Montaje en carril DIN (35 mm)
- ✓ Amplio rango de alimentación de 5 a 30 Vcc.
- ✓ LED proporciona estado de comunicaciones HART
- ✓ Compatible con cables convertidores de USB a RS-485.
- ✓ El puerto RS-485 se puede configurar a velocidades de transmisión estándar de 1200bps a 57600bps paridad Odd, Even, None

- ✓ Cumple con la capa física HART.
- ✓ El aislamiento del transformador simplifica las conexiones de bucle y elimina los efectos de conexión a tierra
- ✓ Usa los comandos modbus estándar para leer datos variables del dispositivo HART
- ✓ Incluye la aplicación de configuración HM y la aplicación de direccionamiento de dispositivos HART
- ✓ Se accede a dispositivos con PACTware y Microflex Generic HART DTM-6

### C. Modem HART InLink-CC – Capacitor Acoplado

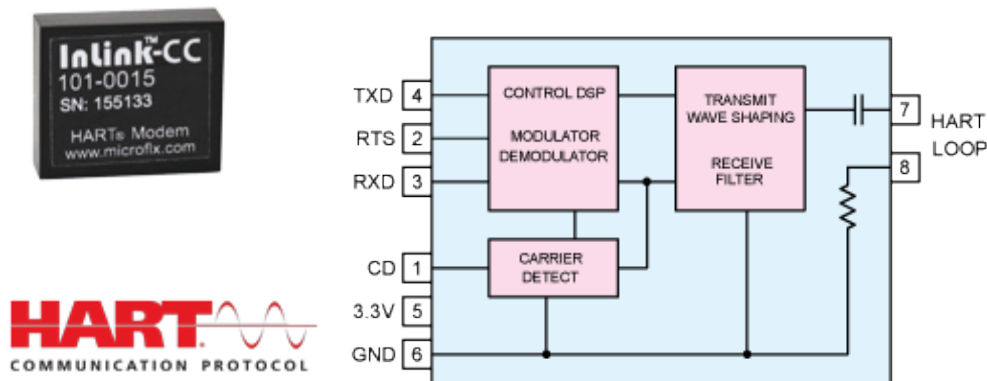


Fig. 2.19. Modem HART InLink-CC

Fuente: elaboración propia (protocolo HART)

(LLC, Acerca de nosotros: Microflex, 2015) “InLink-CC es un módulo módem de protocolo HART que modula los datos serie de 1200 baudios en un bucle HART y demodula los datos HART recibidos, lo que proporciona un flujo de bits serie de 1200 baudios. Permite a los diseñadores implementar fácilmente un módem compatible con HART sin conocer los requisitos de la capa física de HART. InLink-CC interactúa con la lógica estándar de 3.3 V y solo requiere 3 líneas de control; transmisión, recepción y solicitud de envío (RTS). El tamaño del paquete pequeño InLink-CC simplifica aún más la integración en su diseño”.

El diagrama de conexión del modem InLink-CC en un lazo de corriente se muestra en la figura 2.20, donde se muestra un suministro de alimentación de 24VDC para el transmisor, mientras que el modem necesita un suministro de 3.3VDC.

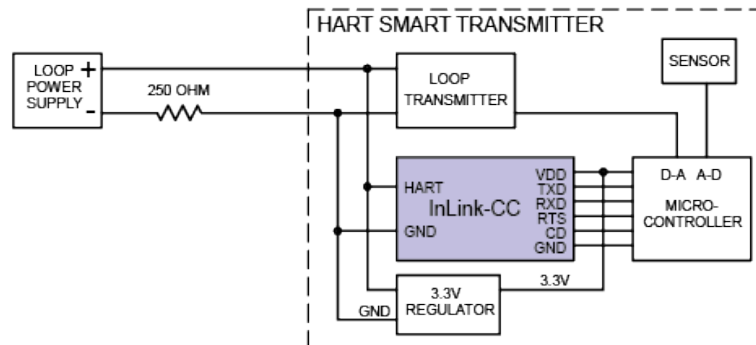


Fig. 2.20. Diagrama de conexiones del modem InLink-CC

Fuente: Revista “electroindustrial”-Protocolo HART

### C.1. Características Técnicas

- ✓ Cumple con la capa física del protocolo HART.
- ✓ Incluye acoplamiento de condensador al bucle HART
- ✓ Módulo de módem completo: reduce el tiempo de comercialización.
- ✓ Simplifica la integración del diseño: la mitad del tamaño del InLink-TC
- ✓ Paquete encapsulado resistente con clavijas chapadas en oro para una mayor confiabilidad
- ✓ Montaje de orificio pasante o zócalo
- ✓ 2.7V a 3.6V Voltaje de funcionamiento
- ✓ Rango de temperatura industrial de -40 ° C a + 85 ° C
- ✓ Forma de onda de la señal de transmisión - Sinusoidal con la distorsión armónica más baja
- ✓ Recibe filtro de paso de banda y procesamiento digital para confiabilidad en condiciones ruidosas
- ✓ Compatible con CMOS
- ✓ Baja Potencia 300uA Típica

#### D. Modem HART DS8500 – USENSOR HART2012M

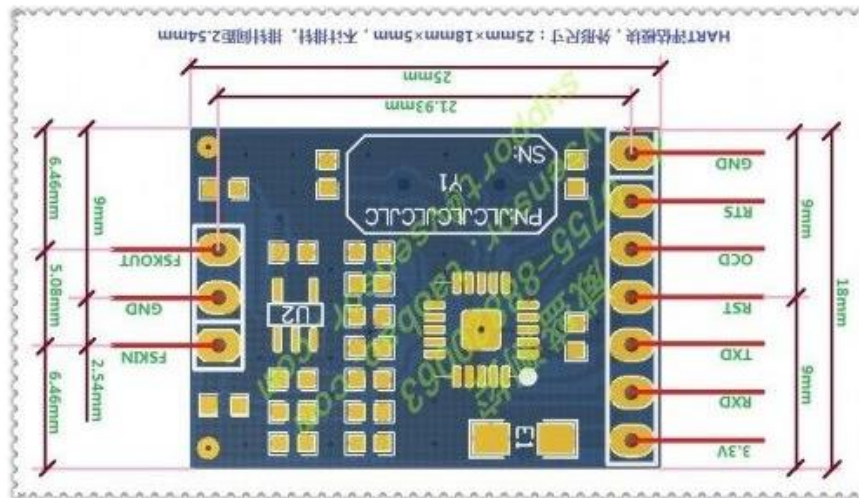


Fig. 2.21 Dispositivo USENSOR con Modem HART DS8500

Fuente: ElectroPeak Inc. © 2019

En la tabla 2, se describe la función y el tipo de cada pin del módulo USENSOR HART2012M con modem HART DS8500

**Tabla 2.** Descripción y función de los pines del dispositivo USENSOR HART2012M

NOMBRE	TIPO	DESCRIPCION
RXD	ENTRADA DIGITAL	ENTRADA DE DATOS SERIAL DIGITAL. PROVENIENTE DE LA SALIDA DEL DEMODULADOR (TERMINAL D_OUT DEL DS8500)
TXD	SALIDA DIGITAL	SALIDA DE DATOS SERIAL DIGITAL. ENTRADA AL MODULADOR (TERMINAL D_IN DEL DS8500)
RST	ENTRADA/SALIDA	REINICIO ACTIVO A BAJO. ES LLEVADO A BAJO COMO UNA SALIDA CUANDO OCURRE UNA CONDICION DE REINICIO INTERNO
OCD	OUTPUT	DETECCION DE PORTADORA. UN ESTADO LOGICO ALTO, INDICA UNA DETECCION DE PORTADORA VALIDA EN FSK_IN
RTS	ENTRADA	REQUERIMIENTO PARA ENVIAR, CUANDO SE SETEA A HIGH, EL DISPOSITIVO SE COLOCA EN MODO DEMODULADOR. UN ESTADO LOGICO BAJO COLOCA AL DISPOSITIVO EN MODO MODULADOR
VDD	ALIMENTACION	SUMINISTRO DE VOLTAJE DIGITAL 3.3 VCC
GND	TIERRA DIGITAL	A 0V
FSK_IN	ENTRADA	ENTRADA ANALOGICA FSK, SEÑAL DE RECEPCION PROVENIENTE DEL BUCLE DE CORRIENTE DE 4-20mA HACIA EL DEMODULADOR HART
FSK_OUT	SALIDA	SALIDA ANALOGICA FSK DESDE EL MODULADOR HART (FRECUENCIAS DE 1200Hz Y 220Hz) HACIA EL BUCLE DE CORRIENTE DE 4-20mA

Fuente: elaboración propia

“El DS8500 es un módem HART que proporciona modulación y demodulación FSK de fase continua para aplicaciones de control de procesos. Este dispositivo es un módem de baja potencia con numerosas funciones que cumple con las especificaciones de la capa física establecidas por HART Communication Foundation” (Integrated, 2010)

El DS8500 es un módem de un solo chip con capacidades de Transductor Remoto Direccional (HART). El dispositivo integra la modulación y demodulación de la señal FSK de 1200Hz / 2200Hz, tiene un consumo de energía muy bajo y necesita solo unos pocos componentes externos debido al procesamiento integrado de la señal digital. La señal de entrada se muestrea mediante un convertidor analógico a digital (ADC), seguido de un filtro / demodulador digital. Esta arquitectura garantiza una detección de señal fiable en entornos ruidosos. El convertidor de salida digital a analógico (DAC) genera una onda sinusoidal y proporciona una señal limpia con una conmutación de fase continua entre 1200Hz y 2200Hz. La baja potencia se logra al deshabilitar los circuitos de recepción durante la transmisión y viceversa. El DS8500 es ideal para transmisores de control de procesos de baja potencia. Esto se ve en el diagrama interno mostrado en la figura 2.22 (Integrated, 2010)

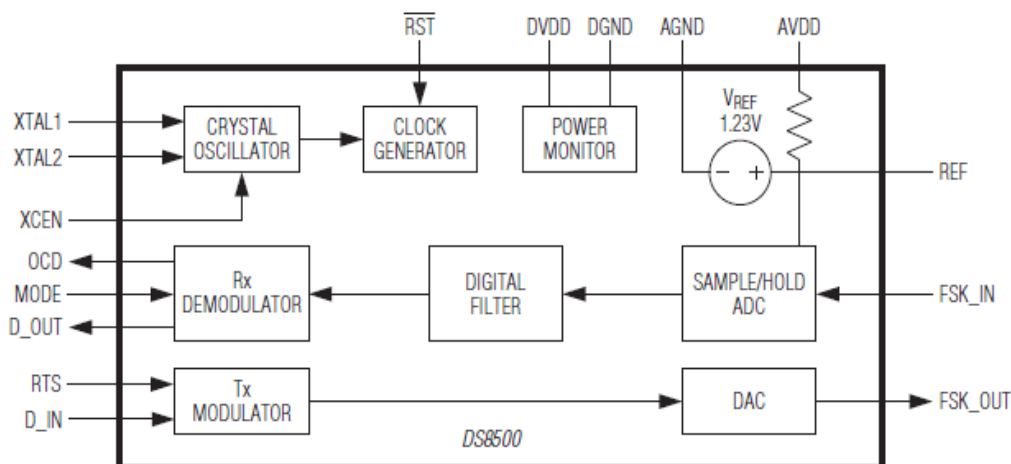


Fig. 2.22 Diagrama interno del modem HART DS8500

Fuente: Revista protocolo HART

Algunas de las características del DS8500 que permiten diseñar un sistema de control de procesos que requiere un módem HART son:

- ✓ Detección de señal confiable
- ✓ Pocos componentes externos
- ✓ Señal de salida sinusoidal
- ✓ Bajo consumo de energía
- ✓ Cristal estándar de 3.6864MHz
- ✓ Una técnica interna de procesamiento de señales digitales permite la detección confiable de señales FSK\_IN; se requieren muy pocos componentes externos para separar una señal HART del ruido. FSK\_OUT es una señal sinusoidal que proporciona la distorsión armónica más baja al sistema.

#### **D.1 Características Técnicas**

- ✓ Módem de un solo chip
- ✓ Half dúplex
- ✓ Superpone la comunicación digital FSK de 1200 bps sobre la infraestructura de bucle de corriente instalada de 4 mA a 20 mA
- ✓ El procesamiento de señal digital proporciona una detección de señal de entrada confiable en condiciones ruidosas
- ✓ El componente estándar Crystal de 3.6864MHz reduce el costo del sistema
- ✓ 2.7V a 3.6V Voltaje de funcionamiento
- ✓ 285µA (max) Consumo de Corriente
- ✓ Paquete TQFN de 20 pines para ahorrar espacio, 5 mm x 5 mm x 0,8 mm
- ✓ Pocos componentes externos requeridos
- ✓ Después de evaluar los cuadros módems, se optó por el Modem HART DS8500 debido a su simpleza de conectividad y su costo



## **2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS**

**HART** Highway Addressable Remote Transducer: Traductor remoto direccionable

**FSK** Frequency Shift Keying: Modulaci3n por cambio de frecuencia

**IEC** International Electrotechnical Commission: Comit3 electrot3cnico internacional

**PLC** Programmable Logic Controller: Controlador l3gico programable

**DTE** Data Terminal Equipment: Equipo Terminal de datos

**DCE** Data Communications Equipment: Equipo de comunicaci3n de datos

**NRZ** Non Return-to-Zero: No retorno al cero

**AWG** American Wire Gauge: Calibre de alambre estadounidense

**CIM** Computer Integrated Manufacturing – Manufactura integrada por computador

## **2.4 HIP3TESIS.**

### **2.3.1 HIP3TESIS GENERAL.**

El estudio de sistemas de comunicaci3n FSK para la conectividad de instrumentos de campo utilizando tecnologa HART permitir3 ampliar el conocimiento de protocolos industriales

### **2.3.2 HIP3TESIS ESPEC3FICAS.**

- El estudio de las caracter3sticas t3cnicas de la tecnologa HART permitir3 conocer la capacidad de conectividad de instrumentos de campo.
- El estudio de las prestaciones que ofrece el protocolo HART permite ser utilizado en una red de campo
- Se justifica el uso de tecnologa HART respecto al alto costo de sus instrumentos tanto de actuaci3n/medici3n como de configuraci3n/diagn3stico

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 ENFOQUE Y DISEÑO

(Sampieri, 2014) *“La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema”*. El enfoque del tema de investigación planteado en esta tesis, es cuantitativo (conjunto de procesos) porque se desarrolla un estudio secuencial y demostrativo del conocimiento aplicado, es decir las etapas se desarrollan una después de otra.

La tesis es de enfoque cuantitativo, debido a que se basa en un área de conocimiento determinado, protocolos de comunicación industrial; aquí se utiliza tecnología desarrollada como los modem HART, en el caso de estudio el MODEM DS8500 que permitió desarrollar un sistema que fue aplicado en una realidad objetiva como es la comunicación entre nodos industriales.

*“El término diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea con el fin de responder al planteamiento del problema”*. (Sampieri, 2014) El diseño de esta investigación es de tipo aplicativo experimental.

### 3.2 SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación abarca el área de conocimiento de los protocolos industriales en la que se pone énfasis en el uso de módems de comunicación HART DS8500 y dispositivo controladores Arduino para realizar la transmisión de datos entre nodos industriales.

### 3.3 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

La metodología que se siguió consistió en la búsqueda de información relevante en cuanto a:

- ✓ Estudio de los principios básicos que se consideran en el desarrollo del protocolo de comunicación HART y que se desarrolló en el capítulo 2 de esta tesis.
- ✓ Descripción de los módems de comunicación HART y selección del modem adecuado para el diseño de nodos industriales para el envío y recepción de información.
- ✓ Criterios a considerar para el diseño de la comunicación serial RS-232 mediante un microcontrolador Arduino para enviar las señales a transmitir al modem HART.

Para el desarrollo de la investigación se evaluaron tres tipos de dispositivos de comunicación HART, siendo los siguientes:

- USB M195Hart Módem Transmisor con Comunicador 475 375
- Modem MIKROLINK HART
- Modem HART InLink-CC – Capacitor Acoplado
- Modem HART DS8500 – USENSOR HART2012M

Luego de ello se procedió al diseño del Sistema de comunicación FSK:

### Diseño Del Sistema De Comunicación FSK

Para evaluar la forma de comunicación del protocolo HART, se procedió a diseñar un sistema que integra principalmente los módems de comunicación HART DS8500 que harán de DCE (Equipo de comunicación de datos) y los controladores Arduino que se utilizaron como los DTE (Equipo terminal de datos). A continuación, se muestra en la figura 3.1 el diagrama que se diseñó. (Helson, 2004)

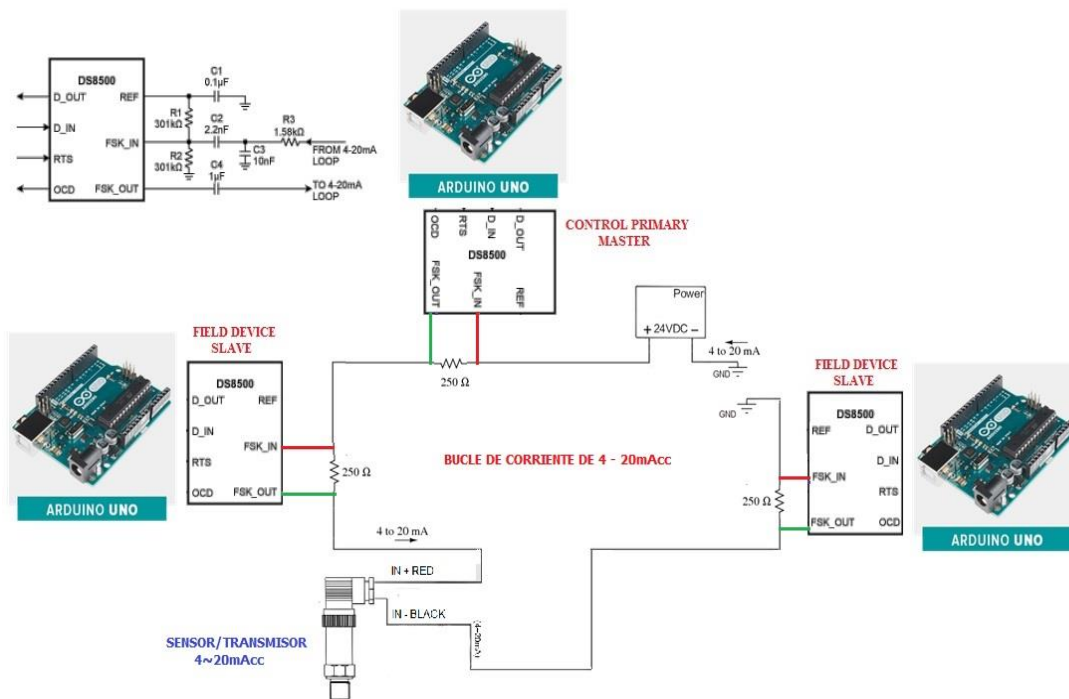


Fig. 3.1 Diagrama del Sistema HART con dispositivos Esclavos y un Maestro

Fuente: elaboración propia

En el diagrama de la figura 3.1 se muestra los tres elementos que forman parte del sistema. El dispositivo superior representa al controlador primario maestro el cual tendrá el control de la comunicación con los dispositivos esclavos. En forma genérica, tanto el controlador maestros como los esclavos consisten en un controlador Arduino y un modem HART DS8500. (Hart, 1999)

### **3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

El método es el camino teórico, las técnicas constituyen los procedimientos concretos que el investigador utiliza para lograr información. Los métodos son globales y generales, las técnicas son específicas y tienen un carácter práctico y operativo.

Los instrumentos para recopilar información y verificar la operatividad del sistema de comunicación HART a diseñar, se consideró:

- Hardware:
  - Modem HART DS8500 (MICROTARJETA USENSOR HART2011M)
  - Microcontrolador Arduino
- Software
  - Propietario del microcontrolador Arduino

### **3.5 ASPECTOS ÉTICOS**

- Respeto a las personas
- Cuidado y preservación del medio ambiente
- Veracidad de los datos obtenidos
- Referenciar según APA la información útil para el proyecto

## **CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se desarrolla la explicación del funcionamiento de los circuitos como lo son el bucle de corriente de 4~20mA, la conectividad de los módulos HART y la programación de los dispositivos que forman parte de la red de control industrial HART. Se considera un Maestro y dos Esclavos HART. En ambos casos, tanto el Maestro como los Esclavos HART tiene como elemento de acceso a la red HART el dispositivo USENSOR HART2012M, el cual se describirá aquí en este capítulo; como MODEM de una señal HART. Se presenta los resultados de las pruebas efectuadas en la implementación de este sistema de comunicación, así también se realiza una breve discusión de cómo se obtuvieron esos resultados.

### **4.1 RESULTADOS**

Se plantea en este ítem, elaborar características de cada uno de los dispositivos que forman parte del sistema de comunicación HART. Estos elementos a evaluar son los modem USENSOR HART2012M, el transmisor utilizado para el envío de una señal de corriente de 4~20mA, la fuente de 24VDC/1.3A, los controladores Arduino para las interfaces Maestro y Esclavo, el software de programación de controladores Arduino y su forma de uso y por último, los accesorios como resistencias de 100Ω para la conexión de los canales de entrada y salida FSK\_IN y FSK\_OUT respectivamente de los módems HART.

#### **4.1.1 Descripción de Dispositivos del Sistema de Comunicación HART**

##### **4.1.1.1 Modem HART USENSOR HART2012M**

En el ítem 2.2.19. inciso D, se describió mediante la tabla 2 cada uno de los pines del dispositivo USENSOR HART2012M. En la figura 2.21 se muestra el dispositivo con sus respectivos terminales. A continuación, se describe el funcionamiento de este dispositivo.

El dispositivo USENSOR cuenta con las siguientes terminales:

- VDD voltaje de alimentación continua de 3.3V que es tomada del Arduino Uno tal como se muestra en la figura 4.1
- GND voltaje de referencia a 0V dc desde el Arduino Uno (Figura 4.1)

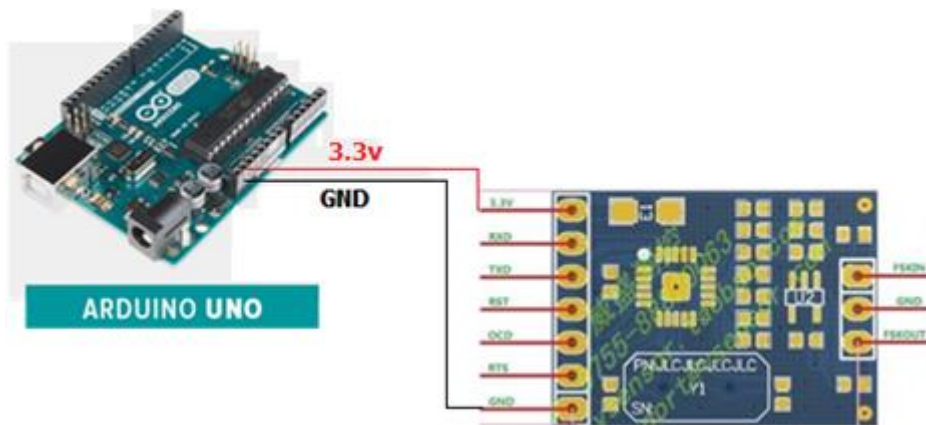


Fig. 4.1 Alimentación de 3.3Vdc del Arduino Mega al HART2012M

Fuente: elaboración propia

- TXD entrada de trama de datos en formato serial RS-232 hacia el Modulador HART DS8500 (Figura 4.2). Este terminal se conecta directamente al terminal de salida TX del Arduino Uno en su pin 1. La trama de salida está en formato serial RS-232 con una velocidad de transmisión configurada a 1200BPS para el protocolo HART.
- RXD salida de la trama de datos en formato serial RS-232 desde el Demodulador HART DS8500 (Figura 4.2). este terminal se conecta directamente al terminal de entrada RX del Arduino Uno en su pin 0.

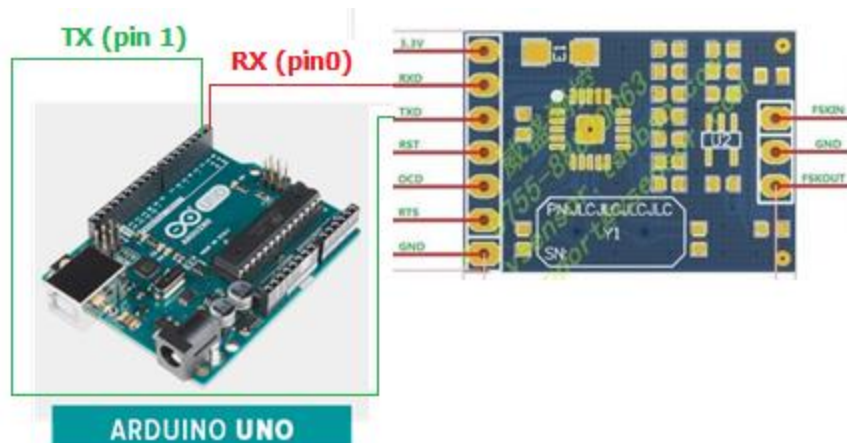


Fig. 4.2 Conexiones de comunicación Serial Arduino y HART2012M

Fuente: elaboración propia

- OCD indica detección de portadora con trama de datos hacia D\_OUT (Figura 4.3). este pin en los dispositivos esclavos HART se mantiene a nivel bajo mientras no exista petición de información por parte de un dispositivo Master HART. Cuando se detecta un cambio de nivel a bajo en OCD, se procede a realizar una lectura de datos serial que provienen del demodulador DS8500 en el terminal D\_OUT hacia el Terminal RX del Arduino Uno. Esto se muestra en la figura 4.4
- RTS requerimiento de envío de trama de datos seriales hacia D\_IN (Figura 4.3)

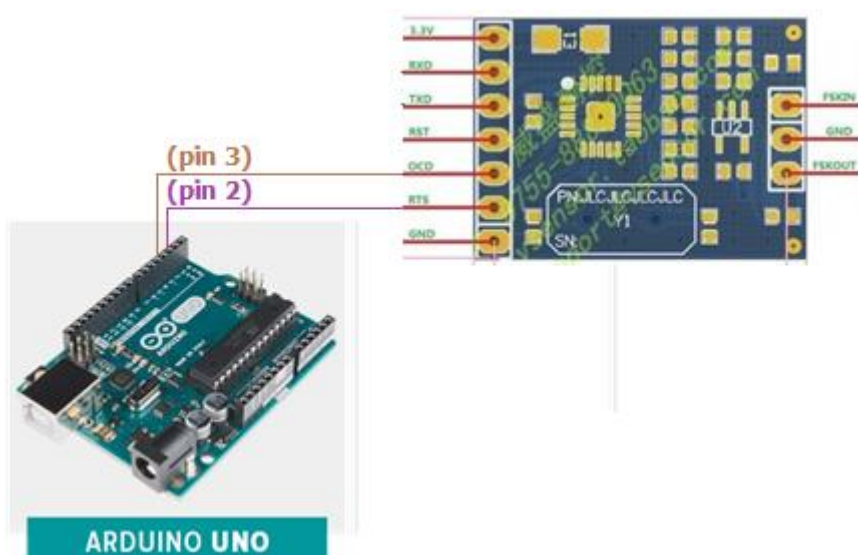


Fig. 4.3 Conexión de los pines OCD y RTS al Arduino Uno

Fuente: elaboración propia



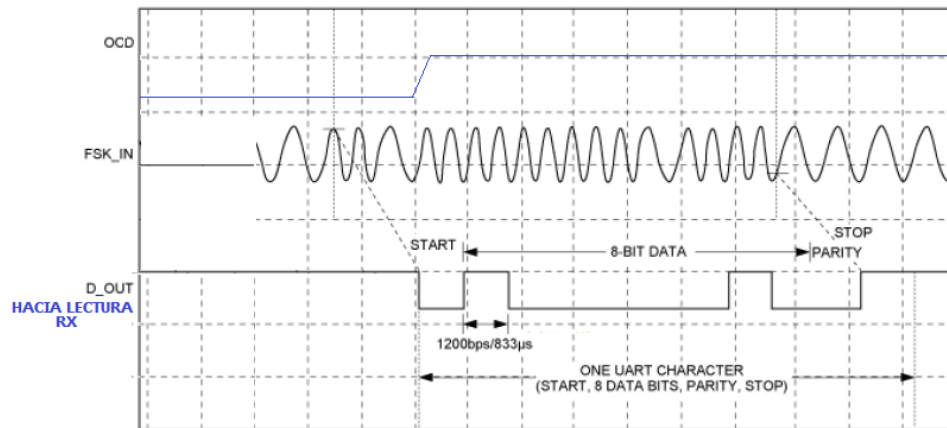


Fig. 4.4 Lectura a RX proveniente del demodulador cuando OCD está en estado alto

Fuente: elaboración propia

- FSK\_IN entrada de datos analógicos FSK hacia el demodulador RX desde el bucle de corriente de 4~20mAcc. Se necesita contar con un bucle de corriente de 4~20mAcc para lo cual se hace uso de un transmisor de presión tal como se muestra en la figura 4.5
- FSK\_OUT salida desde el modulador TX al bucle de corriente de 4~20mAcc (Figura 4.5)

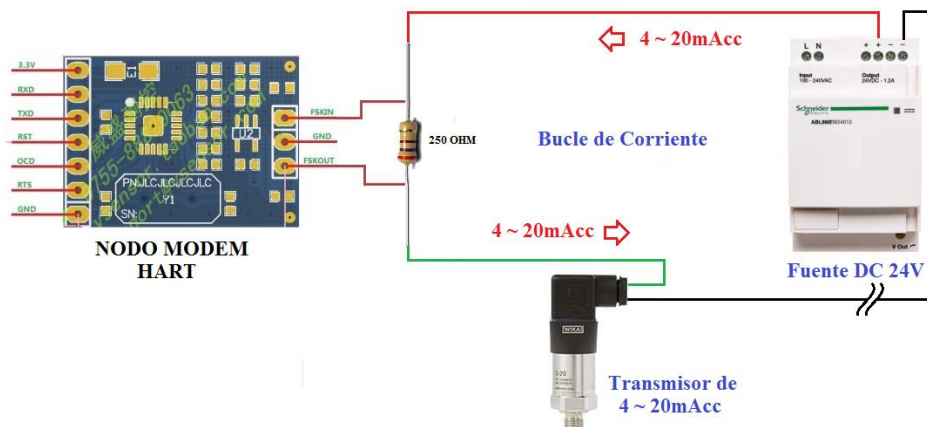


Fig. 4.5 Conexión de Señales HART al Bucle de Corriente de 4 ~ 20mAcc

Fuente: elaboración propia

- RST Reset del Sistema a nivel bajo (debe permanecer en estado alto)

#### 4.1.2 Transmisor de Presión IPS G1002-5

Para realizar el bucle de corriente de 4~20mA, se hizo uso del transmisor de presión IPS G1002-5 el cual utiliza un sensor cerámico de película gruesa piezo resistivo con cuerpo de acero inoxidable el cual tiene una precisión de  $\pm 0.25\%$  de FS (rango de escala máximo). Su rango de medición para este modelo es de 0 a 10 bar y entrega una salida de 4 -20mA. La sonda de serie IPS utiliza un piezo-resistivo adecuado para su uso en una amplia gama de aplicaciones industriales. Presenta una alta sensibilidad resistiva, dentro de una caja de acero inoxidable cerámica y permite una excelente compatibilidad con los medios de medición electrónicos debido a que no requiere ajuste. Estos dispositivos son compensados en temperatura, calibrados y necesitan un suministro eléctrico de 4 a 32 VDC. En la figura 4.6 se muestra el transmisor de presión. (Tav, 2014)



Fig. 4.6 Transmisor de Presión 4 -20mA G1/4

Fuente: internet (directindustry.es)

#### Sus especificaciones son las siguientes:

Máximo Rango de Medición: 59 Bar

Número: BX-PT208

Rango de presión: 0-10bar

Alimentación: 9-32VDC

Señal de salida: 4-20mA

Conexión de Presión: DIN G1/4

Precisión: 0.5% FS

Rango de Temperatura: -40 to 110°C

Material: Acero inoxidable

Estabilidad: menor de 0.1%FS/año

Como se mencionó anteriormente, para la lectura del valor de presión del proveniente del IPS, se instala el circuito de bucle de corriente en el cual se cuenta con una fuente de 24VCD. A este lazo se agregará los módems FSK tanto para el módulo Maestro como para el Esclavo. Hay que considerar que como la salida del transmisor de presión es de 4-20mA, se coloca en serie una resistencia de 250Ω en donde se le conectará a sus extremos las líneas FSK\_IN y FSK\_OUT tal como se muestra en la figura 4.5

#### 4.1.3 Fuente de Alimentación ABL8MEM24012 – SCHNEIDER

(Industries, s.f.) Para el circuito de bucle de corriente, se utilizó una fuente regulada a 24Vcc, 1.3A y 30W. Esta fuente tiene una alimentación de 100~240Vac de tipo monofásica con terminales L (línea) y N (neutro). Sus principales características son:

Tipo de protección de salida:	contra cortocircuitos
Corriente de entrada:	20A
Eficiencia:	82%
Frecuencia de empleo:	47...63Hz
Regulación línea y carga:	+/- 3%
Fluctuación residual:	250mV

#### 4.1.4 Controlador Arduino UNO

(Arduino, 2010) Arduino es una placa con un microcontrolador de la marca Atmel. Incluye, reguladores de tensión, un puerto conectado a un módulo adaptador USB-Serie que permite programar el microcontrolador desde cualquier PC.

El Arduino dispone de 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida y a los que puede conectarse cualquier dispositivo que sea capaz de transmitir o recibir señales digitales de 0 y 5 V. También dispone de entradas y salidas analógicas. Arduino UNO es la última versión de la placa, existen dos variantes, el Arduino

UNO convencional y la Arduino UNO SMD. La única diferencia entre ambas es el tipo de microcontrolador que montan. La primera es un microcontrolador Atmega en formato DIP y la segunda dispone de un microcontrolador en formato SMD.

**(Arduino, 2010)** El Arduino UNO cuenta con terminales especiales de entrada y salida:

RX y TX: Se usan para transmisiones serie de señales TTL.

Interrupciones externas: Los pines 2 y 3 están configurados para generar una interrupción en el atmega.

PWM: Arduino dispone de 6 salidas destinadas a la generación de señales PWM de hasta 8 bits.

SPI: Los pines 10, 11, 12 y 13 pueden utilizarse para llevar a cabo comunicaciones SPI, que permiten trasladar información full dúplex en un entorno Maestro/Esclavo.

I2C: Permite establecer comunicaciones a través de un bus I2C.

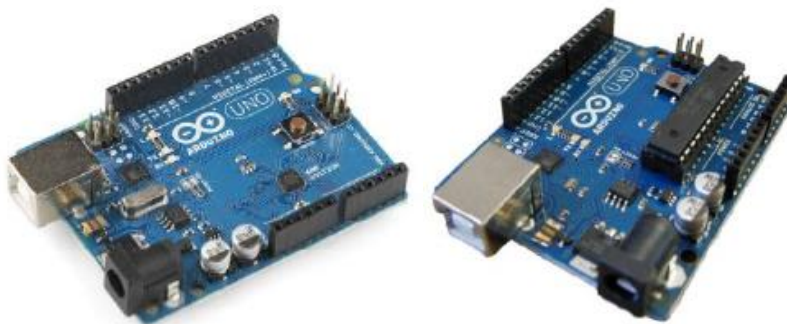


Fig. 4.7 Arduino UNO SMD (izq.) y Arduino UNO DIP (der.)

Fuente: MCI electronics, s.a. ([arduino.cl/](http://arduino.cl/))

#### 4.1.5 Software de Programación Arduino UNO

**(Arduino, Acerca de nosotros: Aprendiendo Arduino)** El software de Arduino es un IDE, entorno de desarrollo integrado (siglas en inglés de Integrated Development Environment). Es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación. El IDE de Arduino es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación; es decir, consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además, incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware.

La figura 4.8 muestra la presentación del software Arduino.

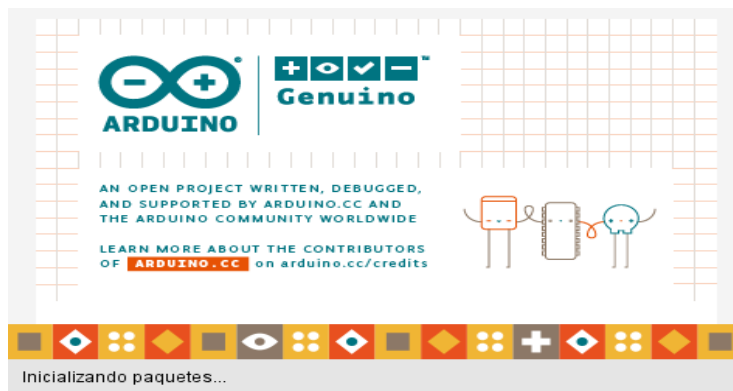


Fig. 4.8 Presentación Software Arduino

Fuente: elaboración propia (software Arduino.)

Cada archivo nuevo para escribir un programa para placas Arduino tiene el nombre de sketch, por ejemplo se muestra un archivo nuevo en la figura 4.9

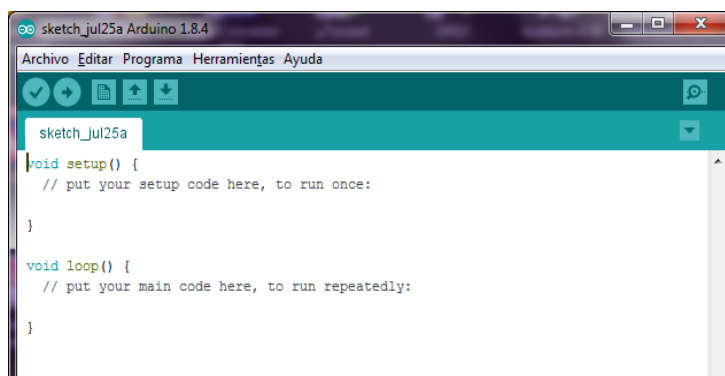


Fig. 4.9 Interface de desarrollo para programas en Arduino

Fuente: elaboración propia (software Arduino.)

La interface muestra dos bloques:

`void setup ( )` donde se coloca el código de configuración como por ejemplo si un pin es de salida o de entrada o la configuración de la comunicación serial. Este solo corre en el inicio del programa, una sola vez

`void loop ( )` este es el bloque donde se desarrolla el código principal del programa y es el que corre en forma permanente.

La parte inferior de la interface (pantalla color negro) sirve para verificar si la compilación del código de programa es correcto así como también la capacidad de memoria utilizada. Ver la figura 4.10

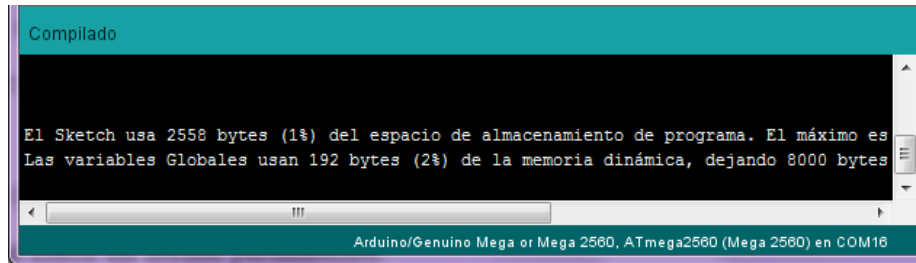


Fig. 4.10 compilación mostrada en la interface inferior

Fuente: elaboración propia (software Arduino).

#### 4.1.6 Códigos para Comunicación HART

En este ítem se describe brevemente los códigos de programa tanto para el Módulo Maestro HART como para el Esclavo HART

##### 4.1.6.1 Código Maestro HART

A continuación se escribe el código para el Maestro HART, donde se describirá cada una de las líneas de código.

```
#define RTS 3 // asigna al pin 3 del Arduino el nombre RTS (enviar datos)
#define RST 2 // asigna al pin 2 del Arduino el nombre RST (reinicio)
#define OCD 4 // asigna la pin 4 del Arduino el nombre OCD (verificar entrada)
int valOCD; // declara la variable val como entera

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(RTS, OUTPUT); // configura el pin RTS como salida
  pinMode(RST, OUTPUT); // configura el pin RST como salida
  pinMode(OCD, INPUT); // configura el pin OCD como entrada
  digitalWrite(RST, HIGH); // pone el pin RST en alto hacía en HART2012M
  digitalWrite(RTS, LOW); // pone el pin RTS en bajo para envío de tramas seriales
  Serial.begin(1200); // configura la velocidad del UART a 1200bps
}

void loop() {
  //Escribir al Esclavo A
  Serial.write("A");
  delay(200);
}
```

```

//Escribir al Esclavo B
Serial.write("B");
delay(200);

digitalWrite(RTS,HIGH); // pone al modem en modo demodulador
valOCD=digitalRead(OCD); // detectar portadora FSK_IN

if (valOCD==0) {
    Serial.println ("no hay portadora en la línea");
}
if (valOCD==1) {
    Serial.println ("leer trama en FSK_IN");
    if (Serial.available() > 0){ // verificar si hay datos en el buffer de entrada
        char FSK_IN = Serial.read(); // leer caracteres en la entrada serial
        if (FSK_IN == 'A') { // verificar si Esclavo A
            Serial.println ("Esclavo A recibió orden");
        }
    }
}

digitalWrite(RTS,LOW); // pone al modem en modo modulador

//Escribir al Esclavo B
Serial.write("B");
delay(200);

digitalWrite(RTS,HIGH); // pone al modem en modo demodulador
valOCD=digitalRead(OCD); // detectar portadora FSK_IN

if (valOCD==0) {
    Serial.println ("no hay portadora en la línea");
}
if (valOCD==1) {
    Serial.println ("leer trama en FSK_IN");
    if (Serial.available() > 0){ // verificar si hay datos en el buffer de entrada
        char FSK_IN = Serial.read(); // leer caracteres en la entrada serial
        if (FSK_IN == 'B') { // verificar si Esclavo B
            Serial.println ("Esclavo B recibió orden");
        }
    }
}

digitalWrite(RTS,LOW); // pone al modem en modo modulador
}

```

#### 4.1.6.2 Código Esclavo HART

A continuación se escribe el código para el Esclavo HART para el caso del Esclavo A, donde se describirá cada una de las líneas de código.

```
#define RTS 3 // asigna al pin 3 del Arduino el nombre RTS (enviar datos)
#define RST 2 // asigna al pin 2 del Arduino el nombre RST (reinicio)
#define OCD 4 // asigna la pin 4 del Arduino el nombre OCD (verificar entrada)
int valOCD; // declara la variable val como entera

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(RTS, OUTPUT); // configura el pin RTS como salida
  pinMode(RST, OUTPUT); // configura el pin RST como salida
  pinMode(OCD, INPUT); // configura el pin OCD como entrada
  digitalWrite(RST, HIGH); // pone el pin RST en alto hacía en HART2012M
  digitalWrite(RTS, HIGH); // pone el pin RTS en alto en modo demodulador
  Serial.begin(1200); // configura la velocidad del UART a 1200bps
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  valOCD=digitalRead(OCD); // detectar portadora FSK_IN

  if (valOCD==0) {
    Serial.println ("no hay portadora en la línea");
  }
  if (valOCD==1) {
    Serial.println ("leer trama en FSK_IN");
    if (Serial.available() > 0) { // verificar si hay datos en el buffer de entrada
      char FSK_IN = Serial.read(); // leer caracteres en la entrada serial
      if (FSK_IN == 'A') { // verificar si es para el Esclavo A
        Serial.println ("Esclavo A recibió orden");
        digitalWrite(RTS, LOW); // pone RTS como demodulador
        Serial.write("A");
        delay(200);
        digitalWrite(RTS, HIGH); // pone RTS como modulador
      }
    }
  }
}
```



## CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó el estudio de sistemas de comunicación FSK considerando sobre todo su modulación por desplazamiento de frecuencia de acuerdo a lo que establece las normas BELL 103, BELL 113 y BELL 202 para la conectividad de instrumentos de campo utilizando tecnología HART lo que me permitió ampliar mi conocimiento de protocolos industriales, considerando las diversas topologías y la capa física como estos se conectan.
- ✓ Se realizó el estudio de las características técnicas de la tecnología HART en la cual se pudo conocer que la señales tanto de salida como de entrada difieren en voltaje pp sobre la línea de corriente de 4~20mA, eso en función a las dos frecuencias con las que trabaja según las normas Bell.
- ✓ Se realizó el estudio de las prestaciones que ofrece el protocolo HART para ser utilizado en una red de campo en la que se pudo conocer que los instrumentos utilizan la misma red analógica de los bucles de corriente de 4~20mA, sin la necesidad de cambiarla, por el contrario permite dotar a los instrumentos de campo con inteligencia únicamente conectándoles un modem HART y un sistema embebido o microcontrolador.
- ✓ El uso de la tecnología HART a nivel académico y aplicativo se justifica debido a que existe en el mercado dispositivos de bajo costo como los modems HART descritos en el ítem 3.3.1 para los casos A, B, C y D como es el caso del modem DS8500 embebido en el dispositivo USENSOR HART2012M usado en esta tesis, lo que con más investigación se podría realizar dispositivos para la configuración y diagnóstico de transmisores y/o actuadores sobre una red de campo HART.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acerca de nosotros: cl.endress.* (s.f.). Obtenido de cl.endress:  
<https://www.cl.endress.com/es>
- AG, S. (1996-2018). *HART Communication Protocol, Siemens.* En  
<https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/comunicaci%C3%B3n-y-software/pages/hart.aspx>.
- Alcalá, A., & Ortiz, W. (2012). *Modulación FSK. Sistemas de Comunicaciones II, Universidad Fermin Toro*, 2-3.
- Arduino. (2010). *Controlador Arduino Uno. Características Arduino* , 1-2.
- Arduino. (s.f.). *Acerca de nosotros: Aprendiendo Arduino.* Obtenido de Aprendiendo Arduino: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/ide/>
- Arduino.cl. (s.f.). *Acerca de nosotros: Arduino.cl.* Obtenido de Arduino.cl:  
<http://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Benavides, G. A. (2015). *Principios de instrumentación electrónica, telemetría y Telecontrol.* Medellín: bonaventuriana.
- Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial, P 629-630.* Barcelona-España: MARCOMBO, S.A; 8va. Ed.
- Dr. Acosta Nelson; Ing. Barragán Gustavo. (2019). *Acerca de nosotros: EL SOFTWARE y LOS SISTEMAS EMBEBIDOS.* Obtenido de EL SOFTWARE y LOS SISTEMAS EMBEBIDOS: [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_embebido](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_embebido)
- García Teodoro, P., & Díaz Verdejo, J. (2003). *Transmisión de datos y redes de computadores, Medios de Transmisión.* Pearson Educación,  
<http://www.dte.us.es/personal/sivianes/tcomu/MediosTransmision.pdf>.
- HART. (1999). *Communication Foundation, Application Guide* . Texas, USA:  
<http://www.pacontrol.com/download/hart-protocol.pdf>.
- Hart. (1999). *HART field communications protocol, HART Communication Foundation.* Austin, Texas, USA:  
[https://www.fieldcommgroup.org/sites/default/files/technologies/hart/appguide\\_hartguide6.1.pdf](https://www.fieldcommgroup.org/sites/default/files/technologies/hart/appguide_hartguide6.1.pdf).
- Helson, R. (2004). *Protocolo de Comunicación HART en Sistemas de Instrumentación Inteligentes.*
- Industries, S. E. (s.f.). *Acerca de nosotros: ABL8MEM24012.* Obtenido de ABL8MEM24012:  
<https://www.se.com/pe/es/product/ABL8MEM24012/regulated-smps---1-or-2-phase---100..240-v-ac---24-v---1.2-a/>

Integrated, M. (2010). *Módem HART DS8500*.

Julio Romero, C. P. (2016). Desarrollo de un Sistema de Supervisión y Monitoreo con implementación de módulos de detección de fallas para una planta piloto desalinizadora de agua de mar. *Desarrollo de un Sistema de Supervisión y Monitoreo, Pontificia Universidad Católica del Perú*, 10.

Kurt, M. (2011). *Automatización\_ Electro Industria*.

Kurt, M. (2011). *El Protocolo HART*.  
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=95&edi=36&xit=el-protocolo-hart>.

Libre, M. (2019). *Acerca de nosotros: articulo.mercadolibre.cl*. Obtenido de articulo.mercadolibre.cl: [https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-473310313-usb-hart-modem-hart-transmisor-hart-communicator-con-24-v-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-473310313-usb-hart-modem-hart-transmisor-hart-communicator-con-24-v-_JM)

LLC, M. (2015). *Acerca de nosotros: Microflex*. Obtenido de Microflex: <https://microflx.com/products/microlink-hm-hart-protocol-modem-modbus-accumulator-rs-485-interface?variant=33609545414>

LLC, M. (2015). *Acerca de nosotros: Microflex*. Obtenido de Microflex: <https://microflx.com/products/inlink-cc?variant=804902811>

López Rubio, E. M. (2016). *TESIS TECNOLOGÍA INALÁMBRICA WIRELESS APLICADA EN LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES*.

López, V. V. (2008). *Redes de comunicación industrial, buses decampo*.  
[buses\\_de\\_campo.htm](buses_de_campo.htm).

Muñoz, K. A. (2017). Protocolo de Comunicación HART. Artículo de Ingeniería, Redes y Sistemas Computarizados de Control. *Protocolo de Comunicación HART*, 1-4.

Olivos, P. T. (2004). *Protocolo Hart, Universidad Tecnologica de Chile, INACAP*, . Chile.

Pabon, D. A. (2011). *Protocolo HART, Practicas de laboratorio* . CARTAGENA DE INDIAS: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR.

Penin, A. R. (2008). *Comunicaciones Industriales Guía Práctica*. España: Marcombo, S.A – 1ra. Ed.

R, B. (1997). *HART Field Communications protocol. A Technical Overview*. USA: Segunda Edición.

Romero, J., & Pérez, C. (2016). *Tesis: “Desarrollo de un Sistema de Supervisión y Monitoreo con implementación de módulos de detección de fallas para una planta piloto desalinizadora de agua de mar”*. Pontificia Universidad Católica del Perú - Escuela de Posgrado.

Sampieri, D. R. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: Miembro de la Cámara Nacional de la Industria, sexta edición.

Sistemas, s. (s.f.). *Acerca de nosotros: Sistemas Master Magazine*. Obtenido de Sistemas Master Magazine: <https://sistemas.com/sistemas-embibidos.php>

Tav. (2014). *Industrial Pressure Transducer, IPS G1002-5*. Cynergy3 Components Ltd.

TORO, P. S. (2010). *Protocolo Hart*. Universidad Tecnológica de Chile.

<http://files.alejandro9188.webnode.cl/200000063-56b8057b40/2%20Protocolo%20HART.pdf>.

Umana, J. (1997). *Precision Digital Corporation, Fundamentos de los lazos de corriente 4-20 ma*.

ANEXOS

ANEXO 01: Ficha técnica del producto ABL8MEM224012

Ficha técnica del producto

Características

ABL8MEM24012

Fuente Regul.24Vcc 1,2A 30W



Principal	
Rango de producto	Phaseo
Tipo de producto o componente	Alimentación
Tipo fuente de alimentación	Modo de encendido regulado
Tensión de entrada	100...240 V CA fase a fase, terminal(es): L1-L2 100...240 V CA monofásica, terminal(es): N-L1 120...250 V CC
Tensión de salida	24 V CC
Potencia nominal en W	30 W
Tipo de protección de entrada	Fusible integrado (no intercambiable)
Corriente de salida de alimentación	1,2 A
Tipo de protección de salida	Contra cortocircuitos
Temperatura ambiente	-25...55 °C (sin reducir la capacidad nominal) 55...70 °C (con)
Complementario	
Límites de tensión de entrada	85...264 V
Frecuencia asignada de empleo	47...63 Hz
Corriente de entrada	20 A
Cos phi	0,5
Eficiencia	82 %
Límites de tensión de salida	22,2...28,8 V ajustable
Disipación de potencia en W	8,6 W
Consumo de corriente	0,4 A a 240 V 0,65 A a 100 V
Regulación línea y carga	+/- 3 %
Fluctuación residual	250 mV
Tiempo de retención	>= 10 ms a 100 V >= 150 ms a 230 V
Conexiones - terminales	para conexión entrada: terminales de tipo tornillo, conexión capacidad: 2 x 0,14...2 x 2,5 mm² AWG 26 ... AWG 14 para conexión salida: terminales de tipo tornillo, conexión capacidad: 4 x 0,14...4 x 2,5 mm² AWG 26 ... AWG 14
Marcado	CE
Soporte de montaje	Carril simétrico DIN de 35 x 7,5 mm

Descargo de responsabilidad: El fabricante no se hace responsable de la conformidad de los productos para aplicaciones especiales.

	Panel 2 tornillos, diámetro: 4 mm Carril asimétrico DIN de 35 x 15 mm
Posición de funcionamiento	Vertical
Altitud máxima de funcionamiento	2000 m
Acoplamiento de salida	Panelado En aerie
Nombre de la prueba	Descargas electrostáticas conforme a EN/IEC 61000-4-2 Campo electromagnético inducido conforme a EN/IEC 61000-4-6 Parada primaria conforme a IEC 61000-4-11 Campo electromagnético radiado conforme a EN/IEC 61000-4-3 Trans. rápido conforme a IEC 61000-4-4 Sobretensión conforme a EN/IEC 61000-4-5 Emisiones conducidas en línea de alimentación conforme a EN 55022 clase B Emisión conforme a EN 50081-1 Emisiones radiadas conforme a EN 55022 clase B Emisión corriente armónica conforme a EN / IEC 61000-3-2
LED de estado	Tensión de salida: 1 LED (verde)
Profundidad	59 mm
Alto	100 mm
Ancho	54 mm
Peso del producto	0,195 kg

#### Entorno

Corriente de entrada	with MIL-HDBK-217F
Certificados de producto	TUV 80950-1 EAC RCM KC CCSAus CSA 22-2 N° 950 CULus 508
Normas	UL 508 CSA C22.2 No 80950-1
Características medioambiental	EMC conforme a EN 55022 clase B EMC conforme a EN 61000-6-3 EMC conforme a EN/IEC 61000-6-2 EMC conforme a EN/IEC 61204-3 Segur. conforme a EN/IEC 60950-1 Segur. conforme a SELV
Grado de protección IP	IP20 conforme a EN/IEC 60529
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...70 °C
Humedad relativa	0...90 % durante funcionamiento 0...95 % en almacenamiento
Categoría de sobretensión	Clase II conforme a VDE 0106-1
Resistencia dieléctrica	3000 V entre entrada y salida

#### Sostenibilidad de la oferta

Estado de oferta sostenible	Producto verde premium
Reglamento REACH	<a href="#">Declaración de REACH</a>
Conforme con REACH sin SVHC	Si
Directiva RoHS UE	Pro-active compliance (Product out of EU RoHS legal scope) <a href="#">Declaración RoHS UE</a>
Sin mercurio	Si
Información sobre exenciones de RoHS	Si
Normativa de RoHS China	<a href="#">Declaración RoHS China</a>
Perfil de circularidad	<a href="#">Información de fin de vida útil</a>

## ANEXO 02: Introduction to the DS8500 HART Modem



Maxim > Design Support > Technical Documents > Tutorials > Communications Circuits > APP 4676

Maxim > Design Support > Technical Documents > Tutorials > Interface Circuits > APP 4676

Maxim > Design Support > Technical Documents > Tutorials > T/E Carrier and Packetized > APP 4676

Keywords: DS8500, HART, HART modem, FSK modem, 4-20mA loop, Intelligent process transmitter, process control, HART communication protocol

TUTORIAL 4676

# Introduction to the DS8500 HART Modem

Jun 09, 2010

*Abstract: This application note describes how to use of DS8500 HART modem for a process-control application. The article explains how to interface the DS8500 to a microcontroller and 4–20mA current loop to ensure proper HART communication.*

## Introduction

This application note introduces the [DS8500](#) single-chip modem for HART® communication. This document should be used in conjunction with the DS8500 data sheet. While the specific requirements for an application can vary, the reference design shown here is a basic example for implementing a process-control circuit.

## HART Overview

Highway Addressable Remote Transducer (HART) communication is a commonly used mode of transmission for digital signals that are superimposed on the analog signal of a 4–20mA current loop. The HART protocol is based on the phase continuous frequency shift keying (FSK) technique. Bit 0 is modulated to a 2200Hz sinusoidal signal, and bit 1 is modulated to a 1200Hz sinusoidal signal with a baud rate of 1200bps. These two frequencies can easily be superimposed on the analog current-loop signal, which is in the range of DC to 10Hz, without affecting either signal. This unique nature of the HART protocol enables simultaneous analog and digital communication on the same wire.

## DS8500 HART Modem

The DS8500 is a HART modem that provides phase-continuous FSK modulation and demodulation for process-control applications. This device is a feature-rich low-power modem that satisfies the physical layer specifications set by the HART Communication Foundation. The DS8500 has many features that allow the user to easily and effectively design a process-control system that requires a HART modem.

- Reliable signal detection
- Few external components
- Sinusoidal output signal
- Low power consumption
- Standard 3.6864MHz crystal

An internal, digital-signal-processing technique enables reliable FSK\_IN signal detection; very few external components are required to separate a HART signal from the noise. FSK\_OUT is a sinusoidal signal that provides the lowest harmonic distortion to the system.

Figure 1 shows a top-level block diagram of the DS8500 in an intelligent process transmitter. The design



highlights the interface between the HART modem and other external ICs.

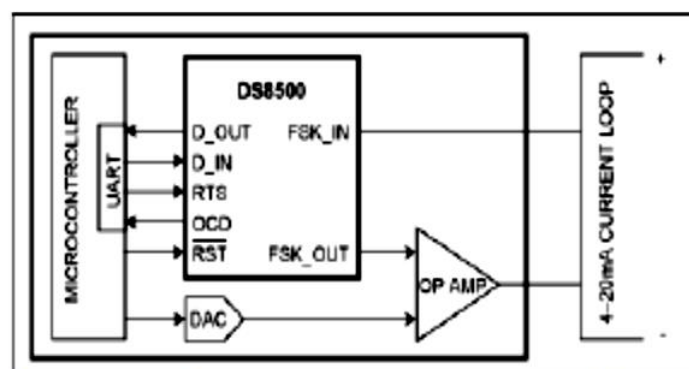


Figure 1. An intelligent process transmitter features the DS8500 HART modem communicating with a system microcontroller.

## Basic DS8500 Operation

### Clock

The DS8500 requires a 3.6864MHz clock as an input source with  $\pm 1\%$  accuracy to guarantee proper operation. Figure 2 shows a typical circuit for clock source. When XCEN is set high, the user can drive an external clock directly onto the XTAL1 pin. If an external 3.6864MHz crystal is desired, XCEN should be set low and the crystal needs to be connected between XTAL1 and XTAL2.

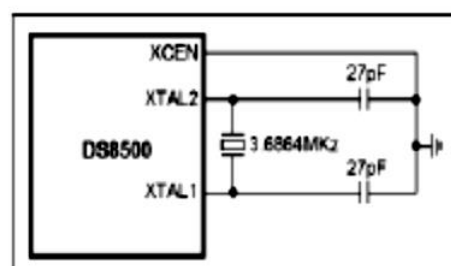


Figure 2. Crystal connection for the DS8500.

### Microcontroller Interface

The HART protocol requires signals to be communicated in a specific 11-bit UART format: a start bit, 8 data bits, one parity bit, and a stop bit. The modulator and the demodulator blocks of the DS8500 need to interface with a microcontroller UART to satisfy the protocol requirement.

In demodulator mode, the DS8500 expects a valid UART start signal to synchronize the data communication. The interface between the HART modem and the microcontroller is also shown in Figure 1. Referring back to Figure 1, the microcontroller must contain the HART software stack required for communication. D\_IN is the digital-signal data input to the DS8500 which will modulate it to an FSK\_OUT signal. D\_OUT is the digital-signal data output from the DS8500 that has been demodulated from an FSK\_IN signal. RTS receives the microcontroller's request to initiate the demodulate (Rx) or modulate (Tx) mode of the modem.

Active-low RST provides a reset to the DS8500 and ensures that all the internal registers and filters start from a known default value. OCD is a carrier-detect signal that determines an FSK signal with a valid amplitude at the input of the demodulator. A logic high on OCD indicates that the FSK\_IN signal amplitude is greater than 120mV; a logic low indicates that the FSK\_IN signal amplitude is less than 80mV or that there is no carrier signal. Optionally, the microcontroller can provide a 3.6864MHz clock to the DS8500.

### Modulator Waveform



Figure 3 shows the DS8500 in modulate mode where D\_IN is the input to the modem and FSK\_OUT is the modulated output. The data is provided in an 11-bit UART format.

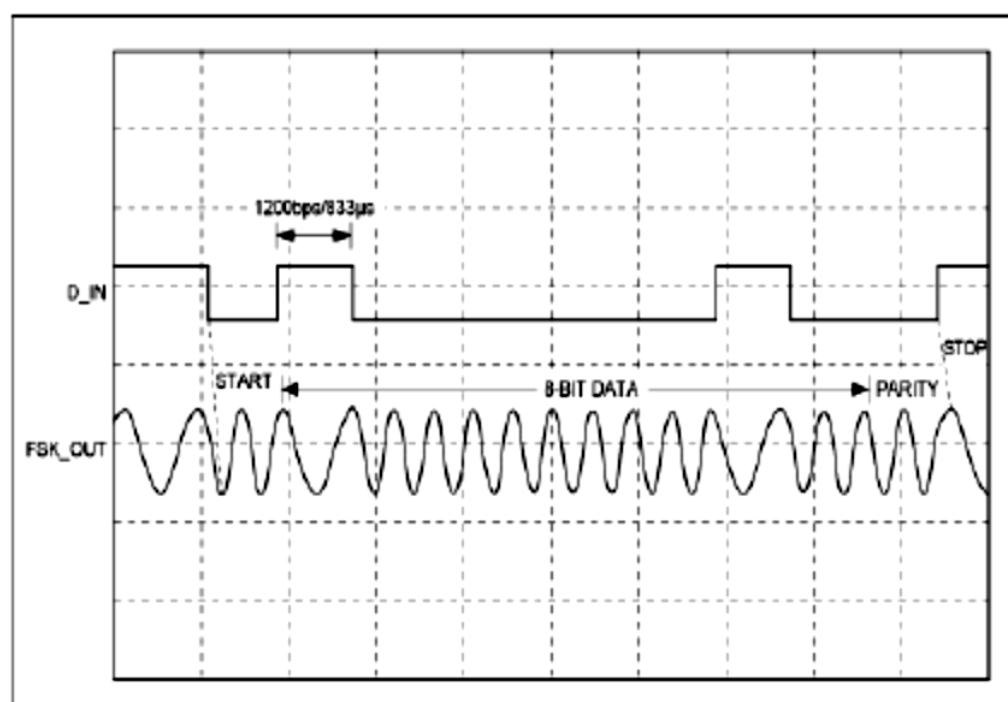


Figure 3. Modulator waveform.

### Demodulator Waveform

Figure 4 shows the DS8500 in demodulate mode where FSK\_IN is the input to the modem and D\_OUT is the output to the UART.

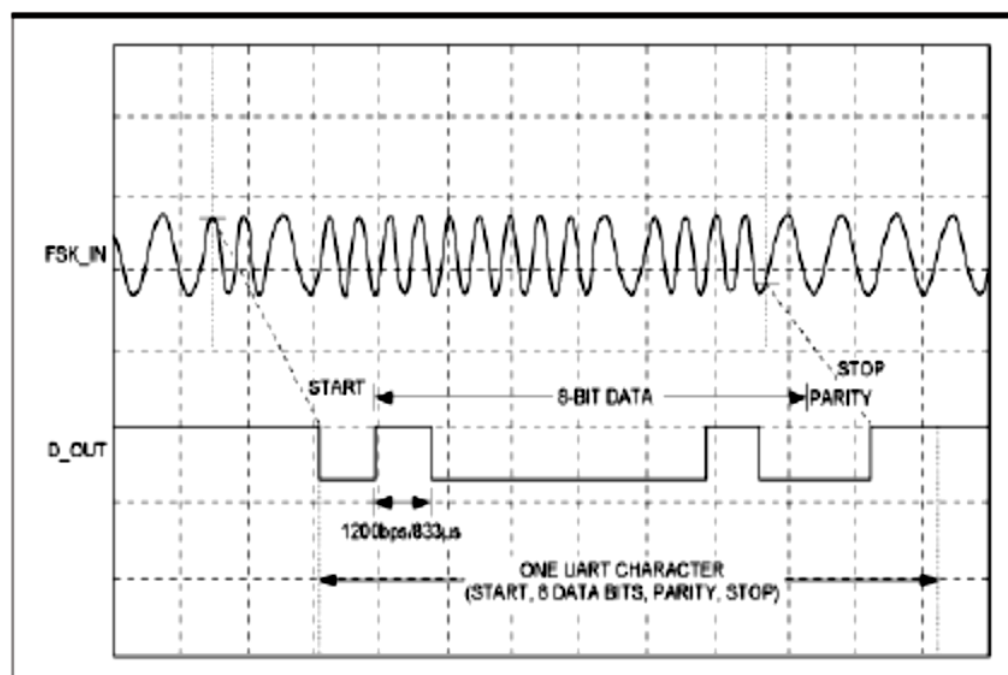


Figure 4. Demodulator waveform.

### External Filters

Due to the digital nature of DS8500 and its built-in digital filters, the number of external passive components required for modem operation is greatly reduced.

Figure 5 shows the few external components needed on the receive and transmit sides. The demodulator in DS8500 requires just a simple lowpass filter with a cutoff frequency of 10kHz (R3, C3) and a highpass filter with a cutoff frequency of 480Hz (C2, R2) to separate the HART signal from the analog signal and interferences. The resistor-divider formed by R1 and R2 provides an input bias voltage of  $V_{REF}/2$  to the DS8500's receive-side circuitry. The RC values shown below are just an example; a different set of RC values can be used, if the cutoff frequencies of lowpass and highpass filters are met.

Together these external components and the internal filters reject the low-frequency analog signals and prevent them from compromising digital reception. In addition, high-frequency components are also attenuated to prevent interference above the HART extended frequency band.

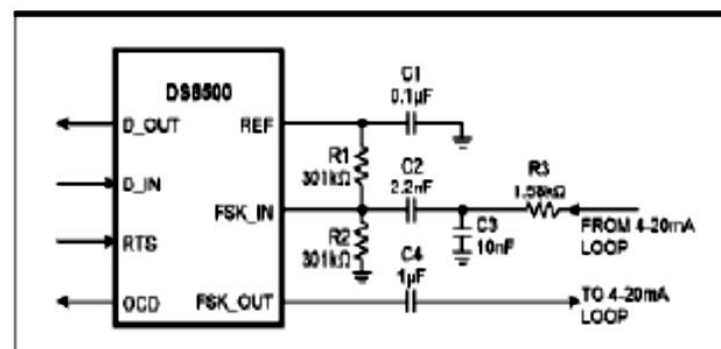


Figure 5. Receive/transmit side external components.

### DS8500 as Slave or Master

The DS8500 modem can be used in either the slave side or the master side of HART communication. Typically, on the slave side the HART modem is part of the intelligent process transmitter unit; on the master side the modem is part of the HART master modem cable that connects the central control unit or the handheld unit to the current loop. Figure 6 shows the interface between master, slave, and current loop.

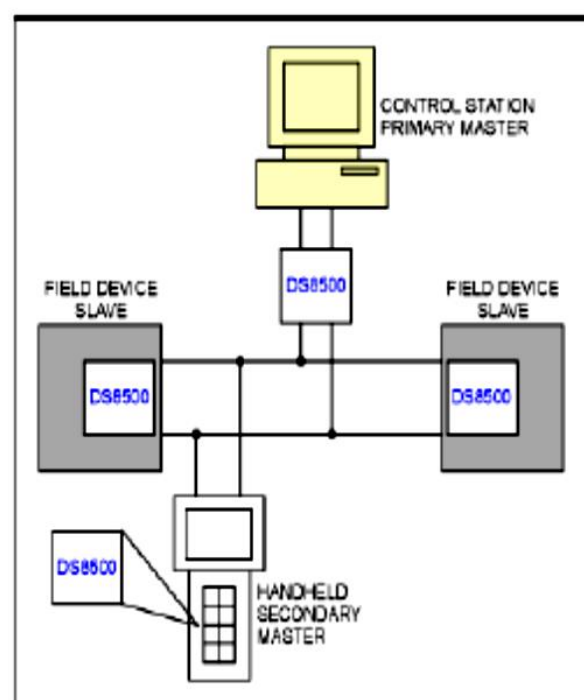


Figure 6. HART devices connections.

Figure 7 shows a HART slave using DS8500 circuitry and the top-level blocks necessary for an intelligent process transmitter. A temperature process transmitter serves as an example for this circuit. The sensor on the process transmitter measures the system temperature in current or voltage and then passes the data to the ADC. The ADC, in turn, converts these analog signals to digital equivalents for the microcontroller to process. The microcontroller provides remote memory along with computation power. The microcontroller typically hosts the HART stack and is responsible for the protocol implementation; it also processes the digital data from the HART modem. Microcontroller capabilities can also be used for sensor calibration, linearization and signal conditioning. The DAC is primarily responsible for driving the current loop.

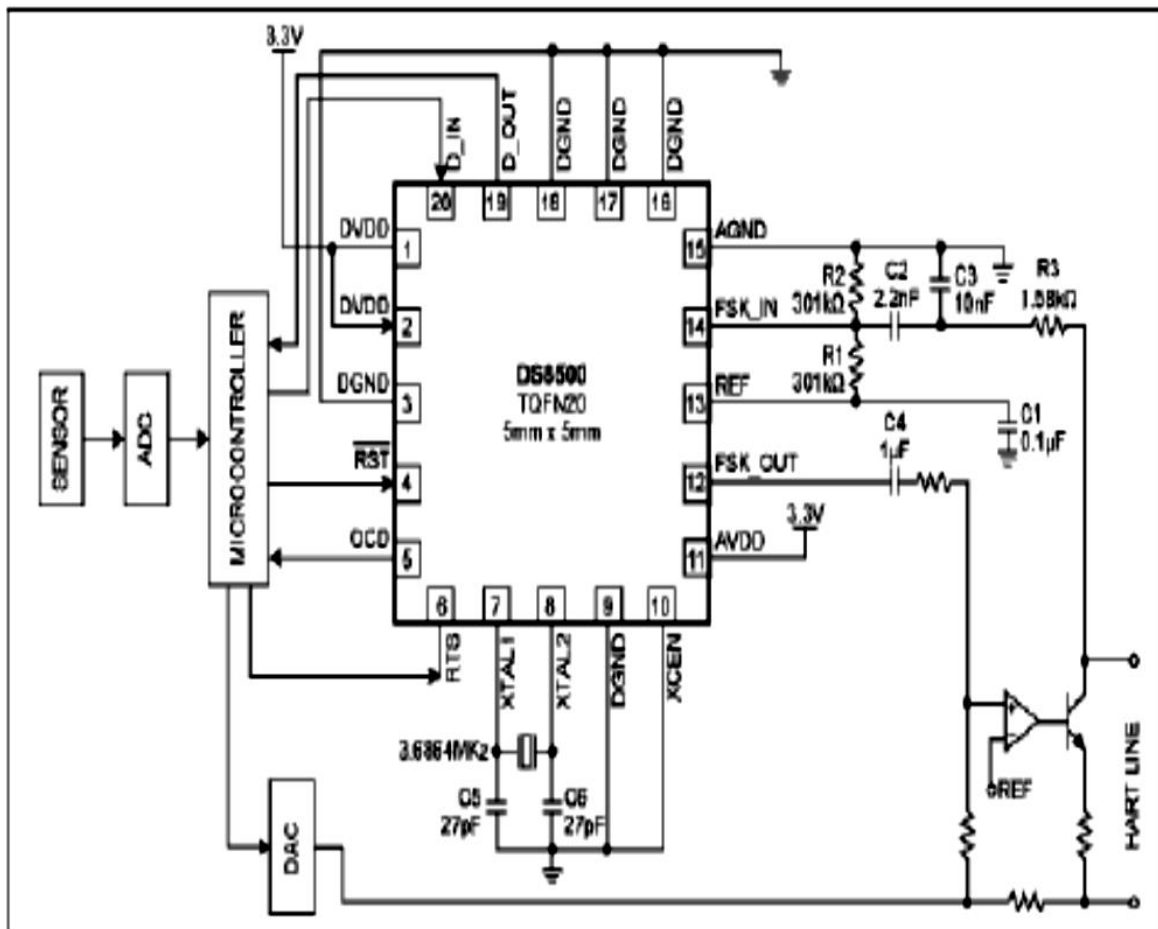


Figure 7. DS8500 on the slave side of HART communication. D\_IN receives data from the microcontroller's UART. D\_OUT transmits data to the UART. Active-low RST is the DS8500 reset. OCD is a carrier-detect signal that determines a FSK signal with a valid amplitude at the input of the demodulator.

On the master side, the DS8500 can be part of the master modem that resides either on the central control unit or the handheld HART communicator. Figure 8 shows the master-side configuration. In this case, the DS8500 communicates to the PC through an RS-232 serial port. The HART protocol is usually supported by software that can be installed on the computer.

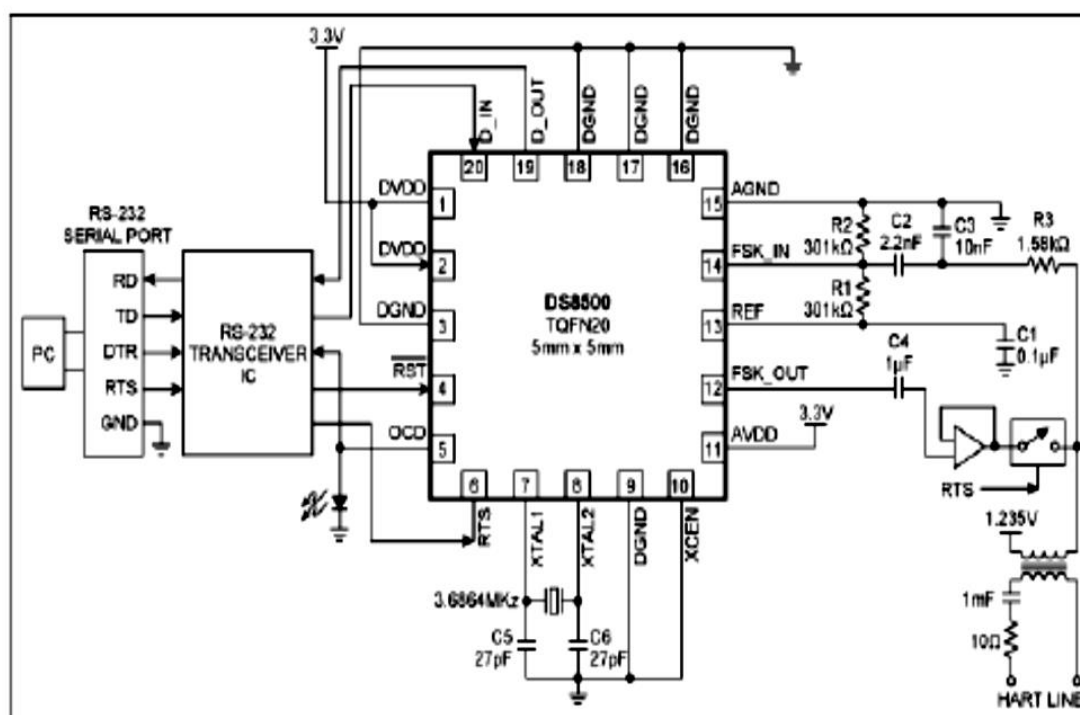


Figure 8. DS8500 on the master side of HART communication. *D\_IN* receives data from the microcontroller's UART. *D\_OUT* transmits data to the UART. Active-low *RST* is the DS8500 reset. *OCD* is a carrier-detect signal that determines a FSK signal with a valid amplitude at the input of the demodulator.

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

HART is a registered trademark of the HART Communication Foundation.

#### Related Parts

DS8500

HART Modem

[Free Samples](#)

#### More Information

For Technical Support: <http://www.maximintegrated.com/support>

For Samples: <http://www.maximintegrated.com/samples>

Other Questions and Comments: <http://www.maximintegrated.com/contact>

Application Note 4676: <http://www.maximintegrated.com/an4676>

TUTORIAL 4676, AN 4676, APP4676, Appnote4676, Appnote 4676

Copyright © by Maxim Integrated Products

Additional Legal Notices: <http://www.maximintegrated.com/legal>



## ANEXO 03: DS8500 HART Modem

### DS8500

### HART Modem

#### General Description

The DS8500 is a single-chip modem with Highway Addressable Remote Transducer (HART) capabilities. It has been fully tested and verified and has received a HART® Certificate of Registration. The device integrates the modulation and demodulation of the 1200Hz/2200Hz FSK signal, has very low power consumption, and needs only a few external components due to the integrated digital signal processing. The input signal is sampled by an analog-to-digital converter (ADC), followed by a digital filter/demodulator. This architecture ensures reliable signal detection in noisy environments. The output digital-to-analog converter (DAC) generates a sine wave and provides a clean signal with phase-continuous switching between 1200Hz and 2200Hz. Low power is achieved by disabling the receive circuits during transmit and vice versa. The DS8500 is ideal for low-power process control transmitters.

#### Applications

4mA–20mA Loop-Powered Transmitters for Temperature, Pressure, Flow, and Level Measurement

HART Multiplexers

HART Modem Interface Connectivity

#### Benefits and Features

- Single-Chip, Half-Duplex Modem Overlays 1200bps FSK Digital Communication on Top of Installed 4mA–20mA Current Loop Infrastructure
- Digital Signal Processing Provides Reliable Input Signal Detection in Noisy Conditions
- Standard Component 3.6864MHz Crystal Reduces System Cost
- Fully Tested and Verified as a HART-Registered Modem IC
- Integrated Solution Requires Minimal Power and Space
  - 2.7V to 3.6V Operating Voltage
  - 285µA (max) Current Consumption
  - Space-Saving, 5mm x 5mm x 0.8mm, 20-Pin TQFN Package
  - Few External Components Required

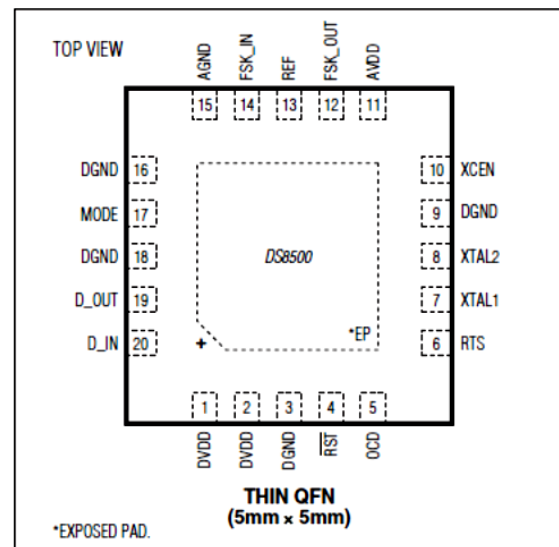
#### Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
DS8500-JND+	-40°C to +85°C	20 TQFN-EP*

+Denotes a lead(Pb)-free/RoHS-compliant package.

\*EP = Exposed pad.

#### Pin Configuration



HART is a registered trademark of the HART Communication Foundation. Membership in the HART Communication Foundation does not guarantee a product has been verified or received a HART Registration Certificate.

## Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on All Pins (including AVDD, DVDD) Relative to Ground .....-0.5V to +3.6V  
 Voltage Range on Any Pin Relative to Ground Except AVDD, DVDD .....-0.5V to (V<sub>DVDD</sub> + 0.5V)

Operating Temperature Range .....-40°C to +85°C  
 Storage Temperature Range .....-65°C to +150°C  
 Soldering Temperature .....Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 Specification.

*Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.*

## Recommended DC Operating Conditions

(V<sub>DVDD</sub> = V<sub>AVDD</sub> = 2.7V to 3.6V, T<sub>A</sub> = -40°C to +85°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Digital Supply Voltage	V <sub>DVDD</sub>		2.7		3.6	V
Analog Supply Voltage	V <sub>AVDD</sub>	V <sub>AVDD</sub> = V <sub>DVDD</sub>	2.7		3.6	V
Ground	GND	AGND = DGND	0		0	V
Digital Power-Fail Reset Voltage	V <sub>RST</sub>	Monitors V <sub>DVDD</sub>	2.59	2.64	2.69	V
Active Current	I <sub>DD</sub>	V <sub>AVDD</sub> = V <sub>DVDD</sub> = 2.7V (Note 2)			285	μA
Input Low Voltage	V <sub>IL</sub>		DGND		0.30 x V <sub>DVDD</sub>	V
Input High Voltage	V <sub>IH</sub>		0.75 x V <sub>DVDD</sub>		V <sub>DVDD</sub>	V
Output Low Voltage	V <sub>OL</sub>	I <sub>OL</sub> = 4mA	DGND		0.4	V
Output High Voltage	V <sub>OH</sub>	I <sub>OH</sub> = -4mA	0.8 x V <sub>DVDD</sub>			V
I/O Pin Capacitance	C <sub>IO</sub>	Guaranteed by design (Note 3)			15	pF
$\overline{\text{RST}}$ Pullup Resistance	R <sub>RST</sub>		19		45	kΩ
Input Leakage Current XTAL, $\overline{\text{RST}}$	I <sub>ILRX</sub>		-30		+30	μA
Input Leakage Current All Other Pins	I <sub>IL</sub>		-2		+2	μA
Input Low Current for $\overline{\text{RST}}$	I <sub>IL1</sub>	V <sub>IN</sub> = 0.4V			170	μA
<b>CLOCK SOURCE</b>						
External Clock Frequency	f <sub>HFIN</sub>		-1%	3.6864	+1%	MHz
<b>VOLTAGE REFERENCE</b>						
Internal Reference Voltage	V <sub>REF</sub>			1.23		V
<b>FSK INPUT</b>						
Input Voltage Range at FSK_IN			0		V <sub>REF</sub>	V
<b>FSK OUTPUT</b>						
Output Voltage at FSK_OUT	V <sub>OUT</sub>	AC-coupled max 30kΩ load	400	500	600	mV <sub>p-p</sub>
Frequency of FSK_OUT (Note 4)		For a mark	-1%	1200	+1%	Hz
		For a space	-1%	2200	+1%	

**Note 1:** Specifications to -40°C are guaranteed by design and are not production tested.

**Note 2:** Active currents are measured when the device is driven by an external clock XCEN = 1 condition.

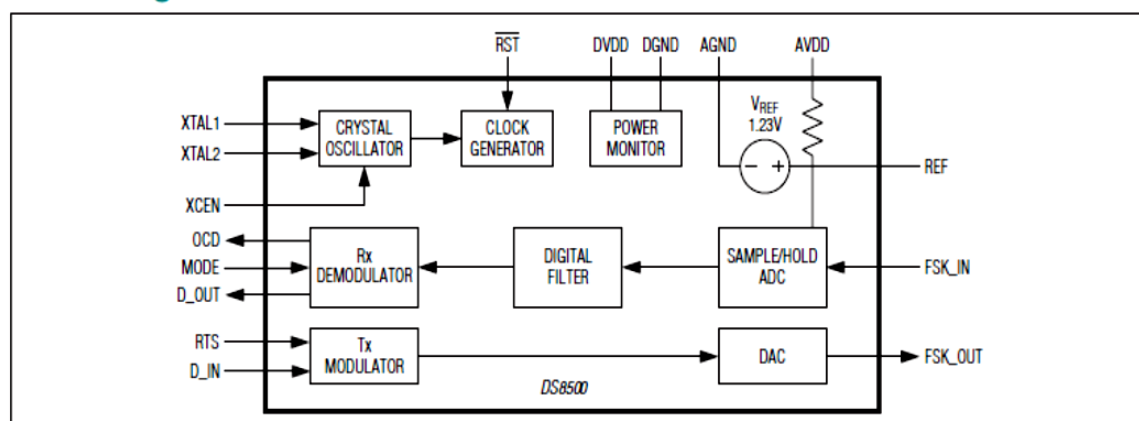
**Note 3:** Guaranteed by design and not production tested.

**Note 4:** Accuracy is guaranteed based on the external crystal or clock provided.

## Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1, 2	DVDD	Digital Supply Voltage
3, 9, 16, 18	DGND	Digital Ground
4	$\overline{\text{RST}}$	Active-Low Reset, Digital Input/Output. This pin includes an internal pullup resistor and is driven low as an output when an internal reset condition occurs.
5	OCD	Carrier Detect, Digital Output. A logic-high indicates a valid carrier detection on FSK_IN. OCD = 1 when FSK_IN amplitude is greater than 120mV <sub>p.p.</sub> OCD = 0 when FSK_IN amplitude is less than 80mV <sub>p.p.</sub>
6	RTS	Request to Send, Digital Input. When set high, the device is put into the demodulator mode. A logic-low puts the device into modulator mode.
7	XTAL1	Crystal Pin or Input for External Clock at 3.6864MHz
8	XTAL2	Crystal Pin or Output of the Crystal Amplifier
10	XCEN	External Clock Enable, Digital Input. When set high, this pin allows the user to drive an external clock signal through XTAL1. When in this mode, XTAL2 should be left unconnected. An external crystal must be connected between XTAL1 and XTAL2 when set low.
11	AVDD	Analog Supply Voltage
12	FSK_OUT	FSK Out, Analog Output. Output of the modulator. Provides a phase-continuous, FSK-modulated output signal (1200Hz and 2200Hz output frequencies) to the 4-20mA current loop interface circuit.
13	REF	Reference, Analog Output. The internal voltage reference is provided as output. This pin must be connected to a 0.1μF capacitor.
14	FSK_IN	FSK In, Analog Input. Input for the FSK-modulated HART receive signal from the 4-20mA current loop interface circuit.
15	AGND	Analog Ground
17	MODE	This pin should be tied high for HART applications. This pin can also be tied low for support of legacy designs.
19	D_OUT	Digital Data Out, Digital Output. Output from the demodulator.
20	D_IN	Digital Data In, Digital Input. Input to the modulator.
—	EP	Exposed Pad. Should be connected to ground (DGND, AGND).

## Block Diagram





## Introduction to HART

HART is a backward-compatible enhancement to existing 4–20mA instrumentation networks that allows two-way, half-duplex, digital communication with a microcontroller-based field device. The digital signal is encoded on top of the existing instrumentation signal. Communication is accomplished through a series of commands and responses dependent on the specific protocol and network topology. The DS8500 does not implement any portion of the communication protocol; it only handles the modulation and demodulation of the encoded information. Digital data is encoded using frequency-shift keying (FSK), which is illustrated in Figure 1. A "1" is identified as a mark symbol and is represented with a center frequency of 1.2kHz. A "0" is identified as a space symbol and is represented with a center frequency of 2.2kHz. This allows a throughput of 1.2kbps, with each symbol occupying an 833μs slot.

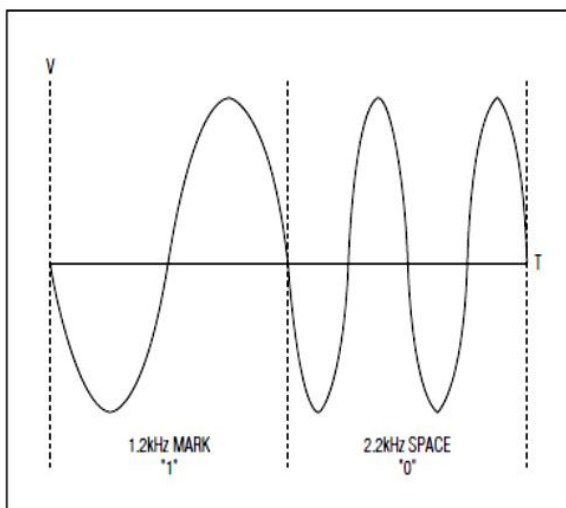


Figure 1. HART FSK Signal

## Functional Description

The DS8500 modem chip consists of a demodulator, carrier detect, digital filter, ADC for input signal conversion, a modulator and DAC for output signal generation, and receive and transmit state machine blocks to perform the HART communication. The *Block Diagram* illustrates the interface between various blocks of circuitry.

The input HART signal's noise interference is attenuated by a one-pole highpass filter that is external to the chip; the attenuated signal is digitized by the ADC and filtered by the receive state machine. The transmit state machine modulates the input to the HART-compliant signal with the help of the modulator and the DAC.

## Modulator

The modulator performs the FSK modulation of the digital data at the D\_IN input. The FSK-modulated sinusoidal signal is present at the FSK\_OUT output as illustrated in Figure 1. The modulator is enabled by RTS being a logic-low. The modulation is done between 1200Hz (mark) or 2200Hz (space) depending on the logic level of the input signal. The modulator preserves a continuous phase when switching between frequencies to minimize the bandwidth of the transmitted signal.

Figure 2 illustrates an example waveform of the DS8500 in modulate mode. The data to be modulated is presented in a UART format (start, 8 data bits, parity, stop bit) at D\_IN. FSK\_OUT shows the modulated output.

## Demodulator

The demodulator accepts an FSK signal at the FSK\_IN input and reproduces the original modulating signal at the D\_OUT output. The HART signal should be presented as an 11-bit UART character with a start, data, parity, and stop bits for proper operation of the demodulator block. The nominal bit rate of the D\_OUT signal is 1200 bits per second. A simple RC filter is sufficient for anti-aliasing. Figure 3 illustrates an example waveform of the DS8500 in demodulate mode.

## Applications Information

Figure 4 shows the typical application circuit. As the DS8500 integrates a digital filter, only a simple passive RC filter is required in front of the ADC. R3 and C3 implement a lowpass filter with a 10kHz cutoff frequency; C2 and R2/R1 implement a highpass filter with a 480Hz cutoff frequency. The resistor-divider formed by R1 and R2 provides an input bias voltage of  $V_{REF}/2$  to the ADC input ( $R1 = R2$ ).

The output DAC provides a sine-wave signal, and C4 provides the AC-coupled signal output from the DS8500. The typical value of C4 can be anything greater than 20nF based on the application.

## HART Registration

This IC has been tested and has received a Modem IC Registration Certificate from the HART Communication Foundation. The use of this HART-registered IC reduces the customer cost and effort associated with achieving HART registration of the end product.

A copy of the DS8500 Registration Certificate (L2-06-1000-346) is available from the HART Communication Foundation at [www.hartcomm.org](http://www.hartcomm.org).

## Technical Support

For technical support, go to <http://support.maxim-integrated.com/micro>.



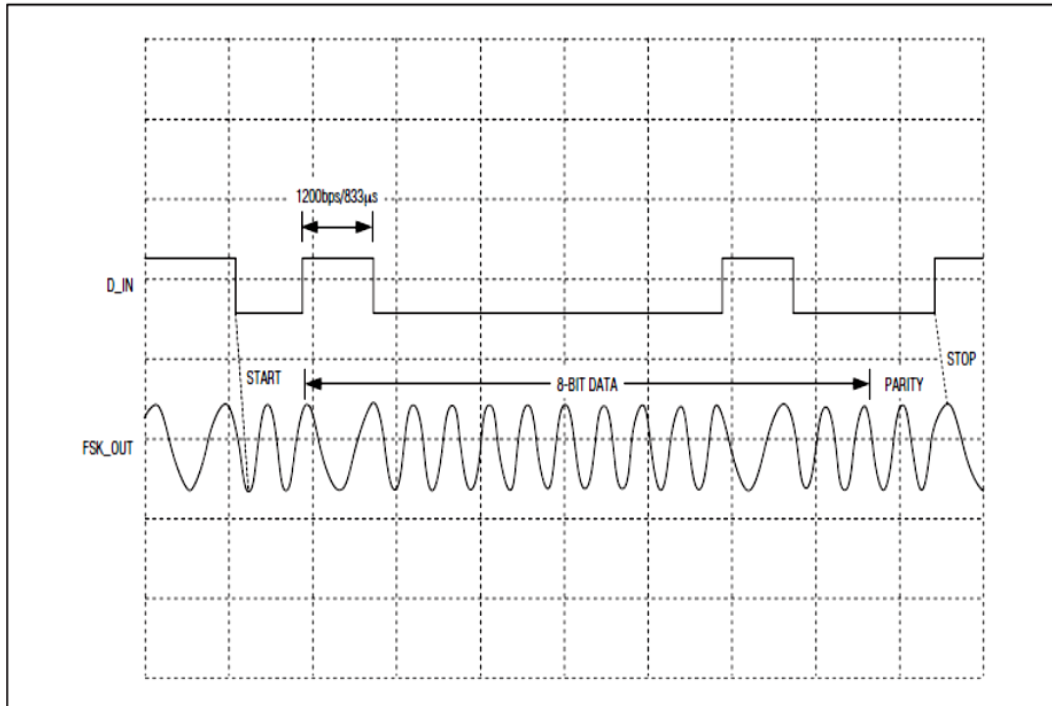


Figure 2. Actual DS8500 Modulator Waveform

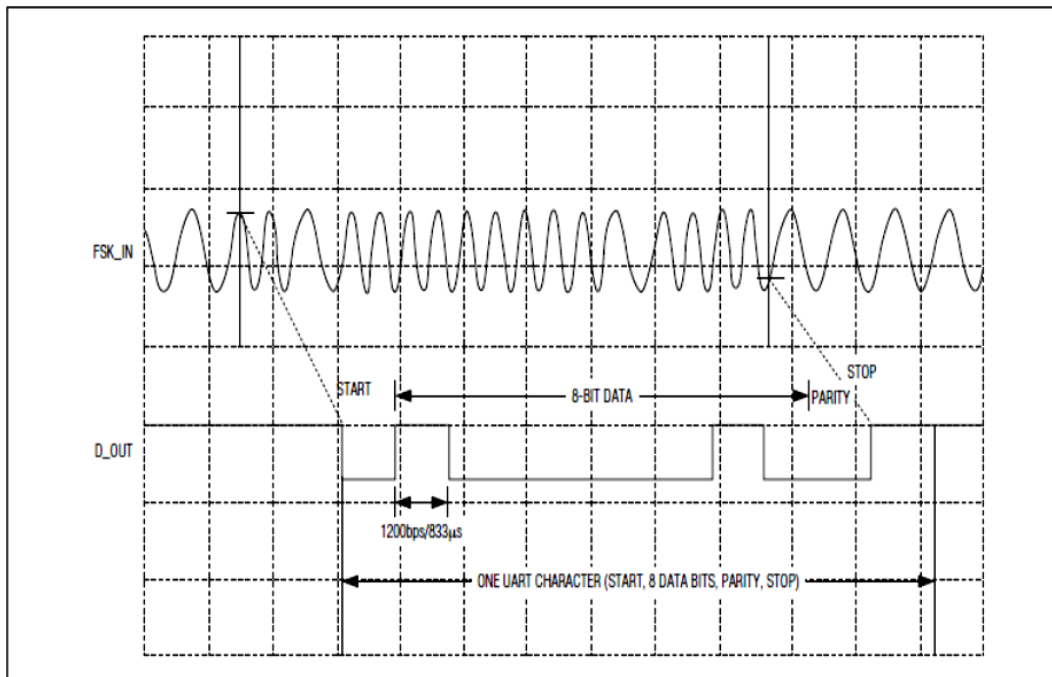


Figure 3. Actual DS8500 Demodulator Waveform

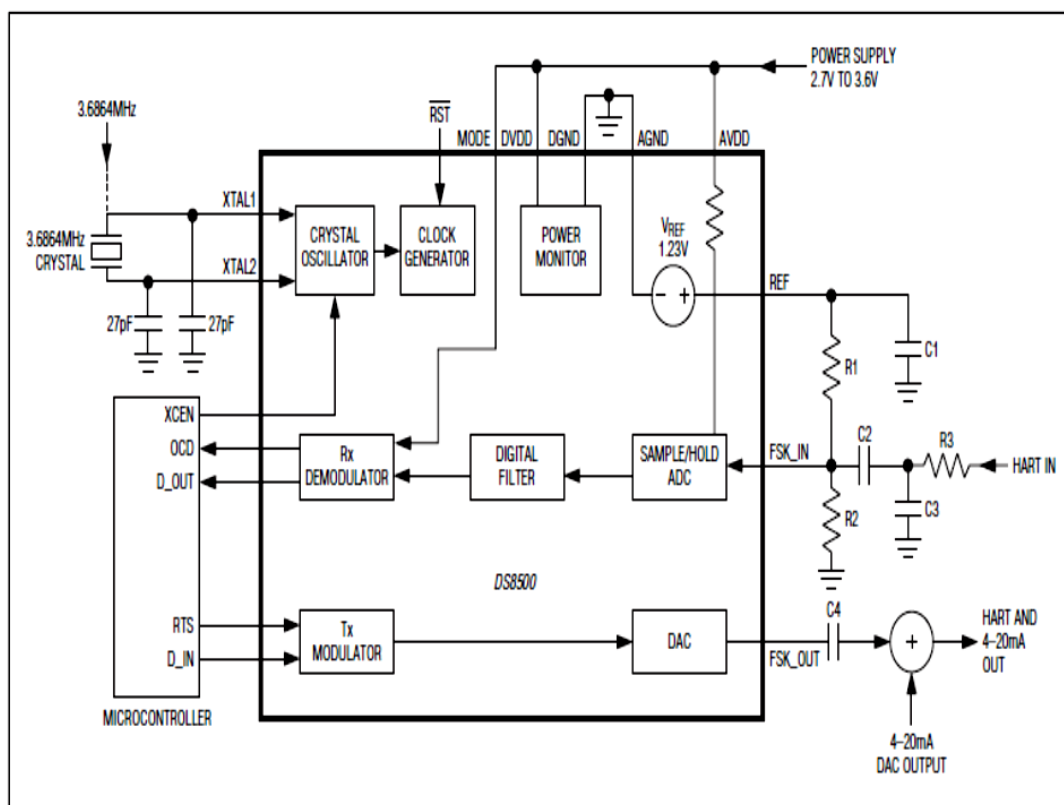


Figure 4. Typical Application Circuit

## Package Information

For the latest package outline information and land patterns (footprints), go to [www.maximintegrated.com/packages](http://www.maximintegrated.com/packages). Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.

PACKAGE TYPE	PACKAGE CODE	OUTLINE NO.	LAND PATTERN NO.
20 TQFN	T2055+3	<a href="#">21-0140</a>	<a href="#">90-0008</a>

## Revision History

REVISION NUMBER	REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
0	10/08	Initial release.	—
1	2/09	In the <i>Electrical Characteristics</i> table, changed the Frequency of FSK_OUT parameter units from kHz to Hz.	2
		Added the EP description to the <i>Pin Description</i> table.	3
2	4/15	Updated <i>Benefits and Features</i> section, added HART registration information, clarified alternate function of pin 17	1, 3, 4, 6

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim Integrated's website at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

*Maxim Integrated cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim Integrated product. No circuit patent licenses are implied. Maxim Integrated reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time. The parametric values (min and max limits) shown in the Electrical Characteristics table are guaranteed. Other parametric values quoted in this data sheet are provided for guidance.*

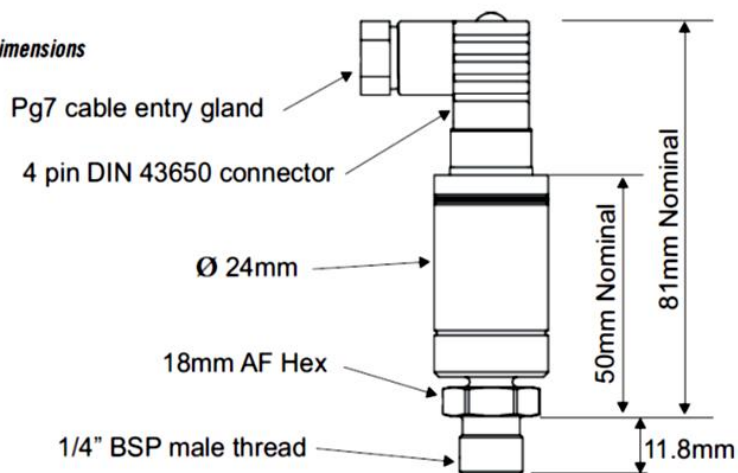


## IPS Series

### Industrial Pressure Sensor - Ceramic

Part Number	Pressure Rating	Output
IPS-G1000-3	0 - 1 Bar G	0 - 100mV
IPS-G1000-5	0 - 1 Bar G	4 - 20mA
IPS-G1000-6	0 - 1 Bar G	0 - 5V
IPS-G6000-3	0 - 6 Bar G	0 - 100mV
IPS-G6000-5	0 - 6 Bar G	4 - 20mA
IPS-G6000-6	0 - 6 Bar G	0 - 5V
IPS-GM1P9-5	-1 to +9 Bar G	4 - 20mA
IPS-GM1P9-6	-1 to +9 Bar G	0 - 5V
IPS-G1002-3	0 - 10 Bar G	0 - 100mV
IPS-G1002-5	0 - 10 Bar G	4 - 20mA
IPS-G1002-6	0 - 10 Bar G	0 - 5V
IPS-G1602-3	0 - 16 Bar G	0 - 100mV
IPS-G1602-5	0 - 16 bar G	4-20mA
IPS-G1602-6	0 - 16 bar G	0-5V
IPS-C0184-5	-1 to +24 Bar G	4 - 20mA
IPS-C0184-6	-1 to +24 Bar G	0 - 5V
IPS-G2502-3	0 - 25 Bar G	0 - 100mV
IPS-G2502-5	0 - 25 Bar G	4 - 20mA
IPS-G2502-6	0 - 25 Bar G	0 - 5V
IPS-G4002-3	0 - 40 Bar G	0 - 100mV
IPS-G4002-5	0 - 40 Bar G	4 - 20mA
IPS-G4002-6	0 - 40 Bar G	0 - 5V
IPS-G1003-3	0 - 100 Bar G	0 - 100mV
IPS-G1003-5	0 - 100 Bar G	4 - 20mA
IPS-G1003-6	0 - 100 Bar G	0 - 5V
IPS-G2503-3	0 - 250 Bar G	0 - 100mV
IPS-G2503-5	0 - 250 Bar G	4 - 20mA
IPS-G2503-6	0 - 250 Bar G	0 - 5V
IPS-G4003-3	0 - 400 Bar G	0 - 100mV
IPS-G4003-5	0 - 400 Bar G	4 - 20mA
IPS-G4003-6	0 - 400 Bar G	0 - 5V

#### Mechanical Dimensions



Cynergy3 Components Ltd.  
7 Cobham Road  
Ferndown Industrial Estate  
Wimborne, Dorset BH21 7PE  
Telephone +44 (0) 1202 897969

Email:sales@cynergy3.com

ISO9001 CERTIFIED

www.cynergy3.com

© 2014 Cynergy3 Components. All Rights Reserved. Specifications are subject to change without prior notice. Cynergy3 Components and the Cynergy3 Components logo are trademarks of Cynergy3 Components Limited.



## IPS Series

### Industrial Pressure Transducer - Ceramic



- Piezo-resistive thick film ceramic sensor
- Stainless steel body
- Accuracy  $\leq \pm 0.25\%$  FS BFSL
- Various outputs including mV, Volts and mA.
- Pressure ranges from -1 to 400 bar

The IPS series is suitable for use in a wide range of industrial applications. The probe uses a piezo-resistive ceramic sensor, giving excellent media compatibility within a stainless steel housing

The electronics incorporate a microprocessor based amplifier, requiring no adjusting and giving stable electronics, especially industrial applications..

Each device is temperature compensated, calibrated and supplied with a traceable serial number and calibration certificate.

Electrical Protection		Performance	
Supply reverse polarity	No damage/no function	Accuracy (Non-Linearity & Hysteresis)	$\leq \pm 0.25\%$ / FS (BFSL)
Electromagnetic compatibility	CE Compliant	Setting Errors (offsets)	2-wire Zero & Full Scale, $\leq \pm 0.5\%$ / FS
		3-wire	Zero & Full Scale, $\leq \pm 0.5\%$ / FS
		4-wire	Zero & Full Scale, $\leq \pm 0.5\%$ / FS @ 10 Volts
Mechanical Stability		Material Specifications	
Shock	100g / 11s	Housing	Stainless Steel
Vibration	10g RMS (20 - 2000Hz)	"O" ring seals	Viton
Temperatures & Thermal Effects		Diaphragm	Ceramic $\text{Al}_2\text{O}_3$ 96%
Operating Temperature	-20°C to +135°C	Media wetted parts	Housing & connection, "O" ring seal,
Ambient Temperature	-20°C to +80°C	diaphragm	
Storage temperature	-20°C to +125°C	Weight	Approx 100g
Compensated temperature range	+20°C to +80°C	Installation position	Any
Thermal Zero Shift (TZS)	$\leq \pm 0.04\%$ /FS/°C	Operational Life	> 100x 10 <sup>6</sup> cycles
Thermal Span Shift	$\leq \pm 0.015\%$ /°C	Insulation resistance	> 50MΩ at 50Vdc

Pressure Ranges and Passive mV/V Outputs										
Nominal Pressure, Gauge,	bar	1	2	5	10	20	50	100	250	400
Compound range	bar	-1 to 0	-1 to 2	-1 to 5	-1 to 9	-1 to 19	-1 to 24			
Permissible Overpressure	bar	2	4	10	20	40	100	200	400	650
Burst Pressure	bar	4	5	12	25	50	120	250	500	650

Output Signals and Supply Voltages					
Wire system	Output	Supply Voltage	Connection Pin Nos		
2-wire	4-20mA	9-32Vdc	+ve Supply Pin 1	-ve Supply Pin 2	Ground Earth Pin
3-wire	0-5Vdc	9-32Vdc	+ve Supply Pin 1	-ve Supply Pin 2	Ground Earth Pin
			+ve Output Pin 3	Ground	Earth Pin
4-wire (amplified)	10mV/V (ratiometric)	3-12Vdc	+ve Supply Pin 1	-ve Supply Pin 2	
			+ve Output Pin 3	-ve Output	Earth Pin

Cynergy3 Components Ltd.  
7 Cobham Road  
Ferndown Industrial Estate  
Wimborne, Dorset BH21 7PE  
Telephone +44 (0) 1202 897969

Email: sales@cynergy3.com

ISO9001 CERTIFIED

www.cynergy3.com

© 2014 Cynergy3 Components, All Rights Reserved. Specifications are subject to change without prior notice. Cynergy3 Components and the Cynergy3 Components logo are trademarks of Cynergy3 Components Limited.